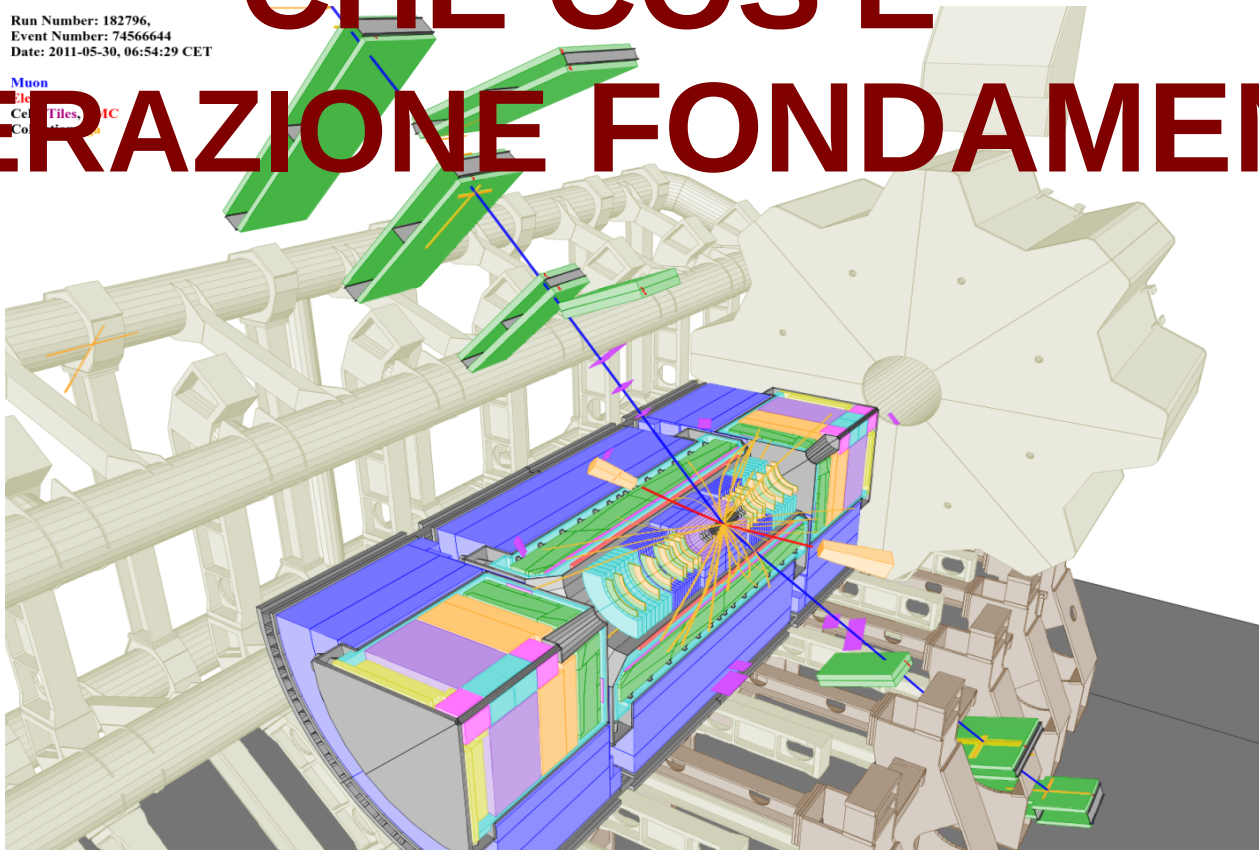


CHE COS'E' UN'INTERAZIONE FONDAMENTALE

Run Number: 182796,
Event Number: 74566644
Date: 2011-05-30, 06:54:29 CET

Muon
Electron
Photon
Neutrino
Tau
Top
Bottom
Charm
Strange
Up
Down
Anti-Quarks
Anti-Leptons
Anti-Neutrinos
Anti-Taus
Anti-Tops
Anti-Bottoms
Anti-Charms
Anti-Stranges
Anti-Ups
Anti-Downs



Stefano Forte

Dipartimento di Fisica dell'Università e INFN, Milano

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
DIPARTIMENTO DI FISICA

INFN
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

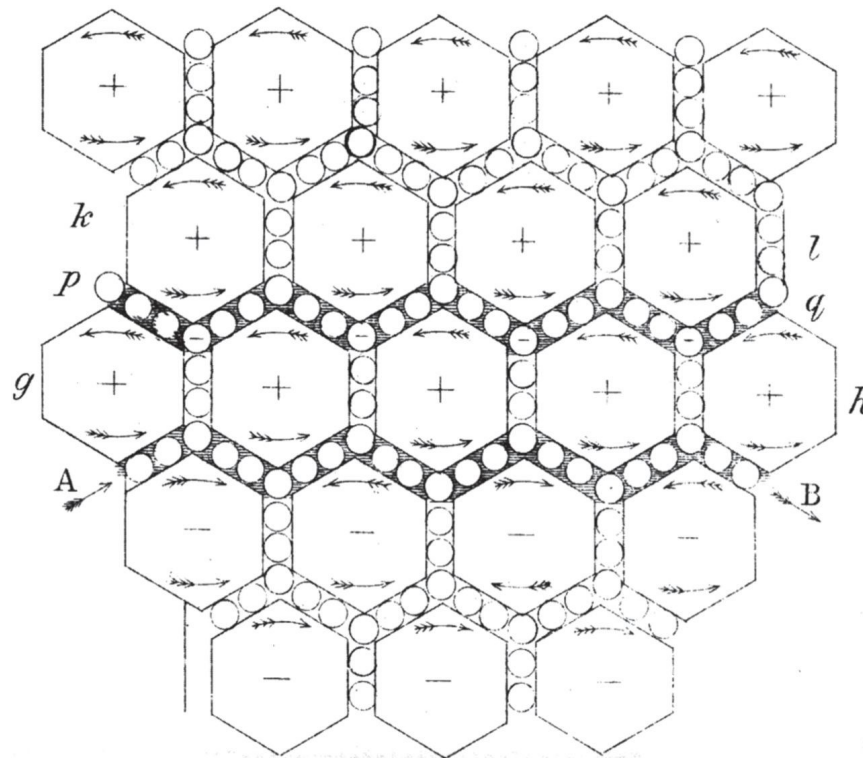
La fisica incontra la città; Università Roma Tre, 8 novembre 2017



IL MECCANICISMO OTTOCENTESCO

una spiegazione meccanica: un meccanismo microscopico?

persino per i fenomeni elettrici e magnetici!

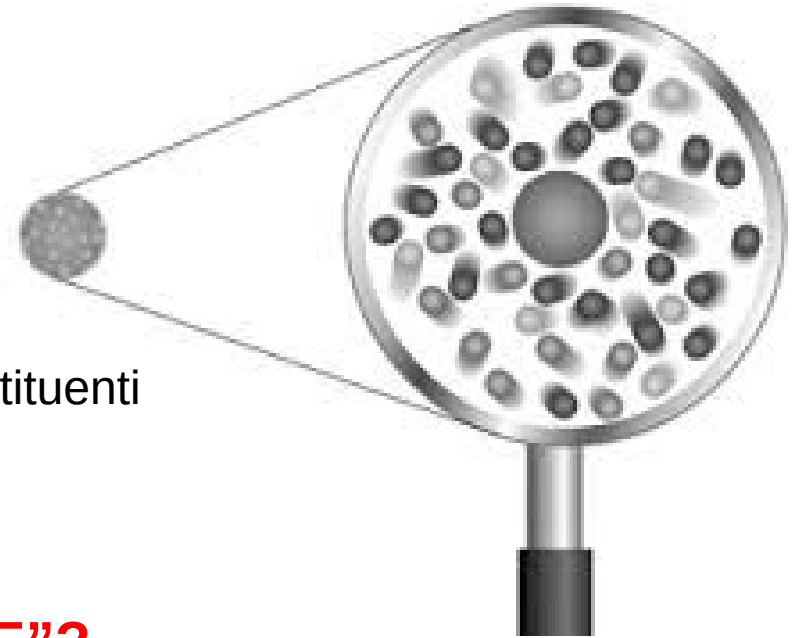


J.C.Maxwell, 1865

...E L'INDETERMINAZIONE QUANTISTICA

ma dall'inizio del novecento sappiamo che nel modo subatomico la meccanica diventa quantistica:

- Un oggetto non ha una posizione ben definita
- Il numero di costituenti di un oggetto non è fisso
- Più si guarda da vicino, più aumenta il numero di costituenti



DUNQUE NULLA E' "FONDAMENTALE"?

EPPURE...



[Pagina principale](#)
[Ultime modifiche](#)
[Una voce a caso](#)
[Vetrina](#)
[Aiuto](#)
[Sportello informazioni](#)

[Comunità](#)
[Portale Comunità](#)
[Bar](#)

Accesso non effettuato [discussioni](#) [contributi](#) [registrati](#) [entra](#)

Voce [Discussione](#)

Leggi

[Modifica](#)

[Modifica wikitesto](#)

[Cronologia](#)

Cerca all'interno di Wikipedia

Interazioni fondamentali

Da Wikipedia, l'enciclopedia libera.

In [fisica](#) le **interazioni fondamentali** o **forze fondamentali** sono le [interazioni](#) o [forze](#) della [natura](#) che permettono di descrivere i [fenomeni fisici](#) a tutte le scale di distanza e di energia e che non sono quindi riconducibili ad altre forze.

Sono state individuate quattro forze o interazioni fondamentali: l'[interazione gravitazionale](#), l'[interazione elettromagnetica](#), l'[interazione nucleare debole](#) e l'[interazione nucleare forte](#). Per energie dell'ordine dei 100 [GeV](#) la forza elettromagnetica e la forza debole si presentano come unificate nell'[interazione elettrodebole](#).

Ulteriori forze sono state proposte per spiegare alcune lacune delle attuali teorie anche rispetto ai risultati sperimentali (ad esempio non sono ancora note le interazioni della [materia oscura](#)), ma al momento non esiste consenso in merito alla loro esistenza e alle loro eventuali proprietà.

DOMANDE....

- Che cos'è una “particella elementare”
- Che cos'è un' “interazione”
- Che cosa significa “fondamentale”



CHE COS'E' UNA PARTICELLA ELEMENTARE?

ANSA.it > Scienza&Tecnica > Fisica&Matematica > Scoperta al Cern la particella Xi, inseguita da anni

Scoperta al Cern la particella Xi, inseguita da anni

Mai vista una simile, aiuta a capire colla che unisce la materia



Redazione ANSA

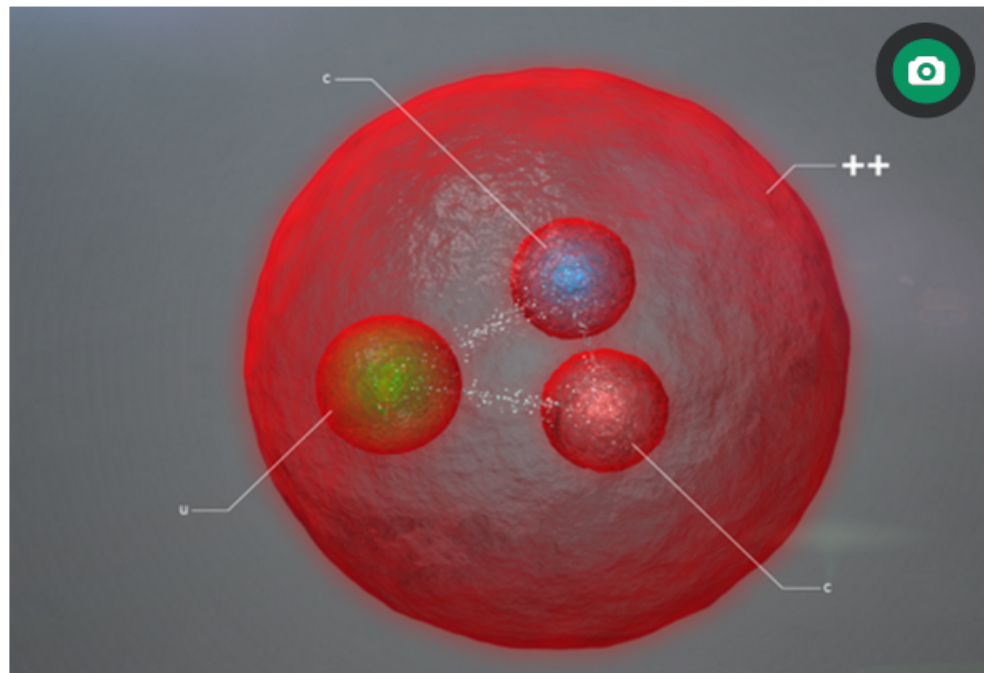
07 luglio 2017 17:32



Scrivi alla redazione



Stampa



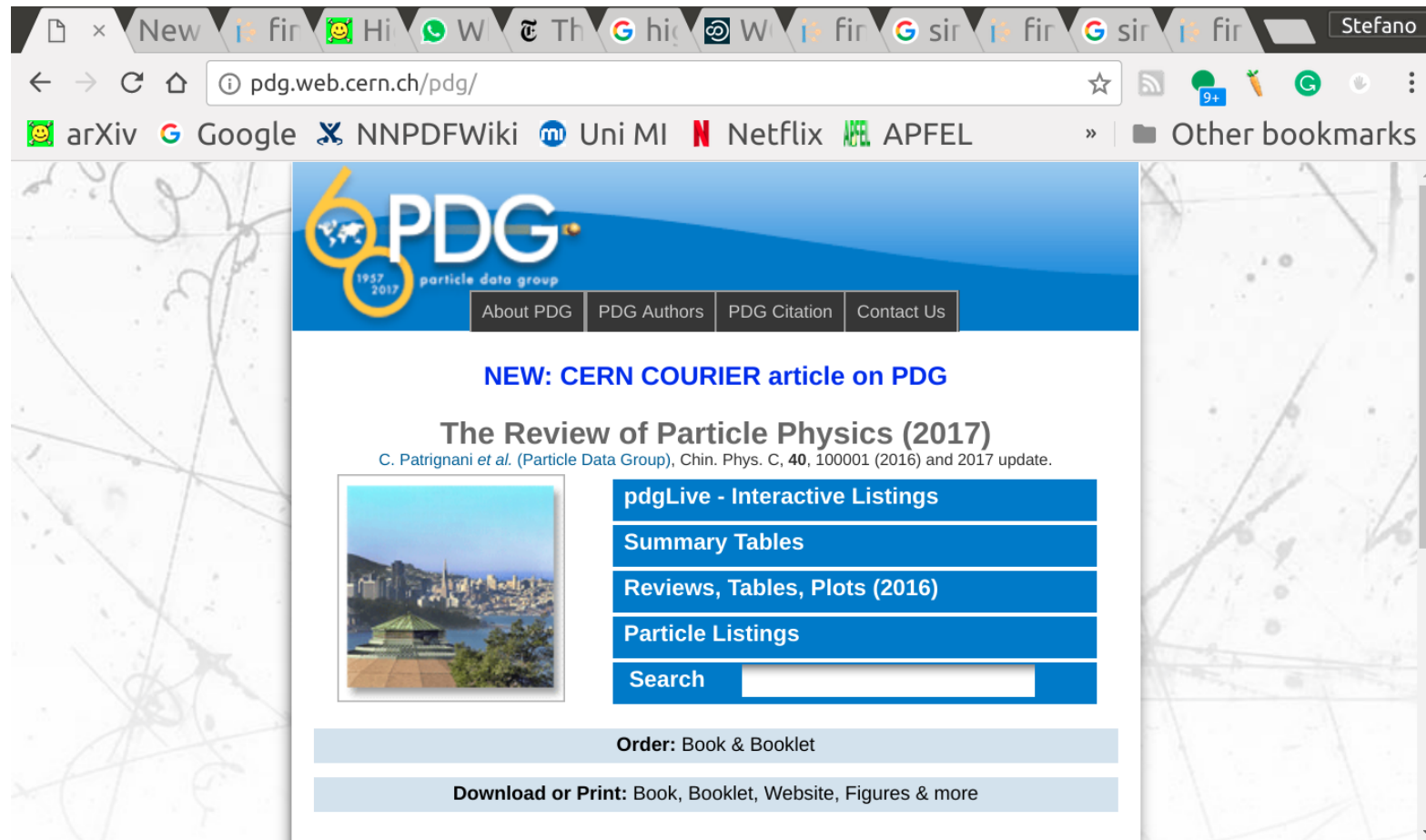
Rappresentazione grafica della particella appena scoperta al Cern, chiamata Xi (fonte: ...)

CLICCA PER



SI TRATTA DI UNA PARTICELLA ELEMENTARE?

CHE COSA DICONO LE TAVOLE?



The screenshot shows a web browser window with the URL `pdg.web.cern.ch/pdg/`. The browser's address bar and tabs are visible at the top. The PDG logo, featuring a stylized '6' and 'PDG' with the text 'particle data group' and '1957 2017', is prominently displayed. Below the logo, a navigation bar contains links for 'About PDG', 'PDG Authors', 'PDG Citation', and 'Contact Us'. The main content area features a blue banner with the text 'NEW: CERN COURIER article on PDG'. Below this, the title 'The Review of Particle Physics (2017)' is shown, followed by the author information 'C. Patrignani *et al.* (Particle Data Group), Chin. Phys. C, **40**, 100001 (2016) and 2017 update.' A small image of a cityscape is visible on the left side of the main content area. To the right of the image, a list of links is provided: 'pdgLive - Interactive Listings', 'Summary Tables', 'Reviews, Tables, Plots (2016)', 'Particle Listings', and a 'Search' input field. At the bottom of the page, there are two light blue bars: the first contains the text 'Order: Book & Booklet', and the second contains the text 'Download or Print: Book, Booklet, Website, Figures & more'.

pdg.web.cern.ch/pdg/

arXiv Google NNPDFWiki Uni MI Netflix APFEL Other bookmarks

6PDG
particle data group
1957 2017

About PDG PDG Authors PDG Citation Contact Us

NEW: CERN COURIER article on PDG

The Review of Particle Physics (2017)
C. Patrignani *et al.* (Particle Data Group), Chin. Phys. C, **40**, 100001 (2016) and 2017 update.

pdgLive - Interactive Listings
Summary Tables
Reviews, Tables, Plots (2016)
Particle Listings
Search

Order: Book & Booklet

Download or Print: Book, Booklet, Website, Figures & more

UNA PARTICELLA ELEMENTARE: l'elettrone

Citation: C. Patrignani *et al.* (Particle Data Group), Chin. Phys. C, **40**, 100001 (2016) and 2017 update

LEPTONS

e

$$J = \frac{1}{2}$$

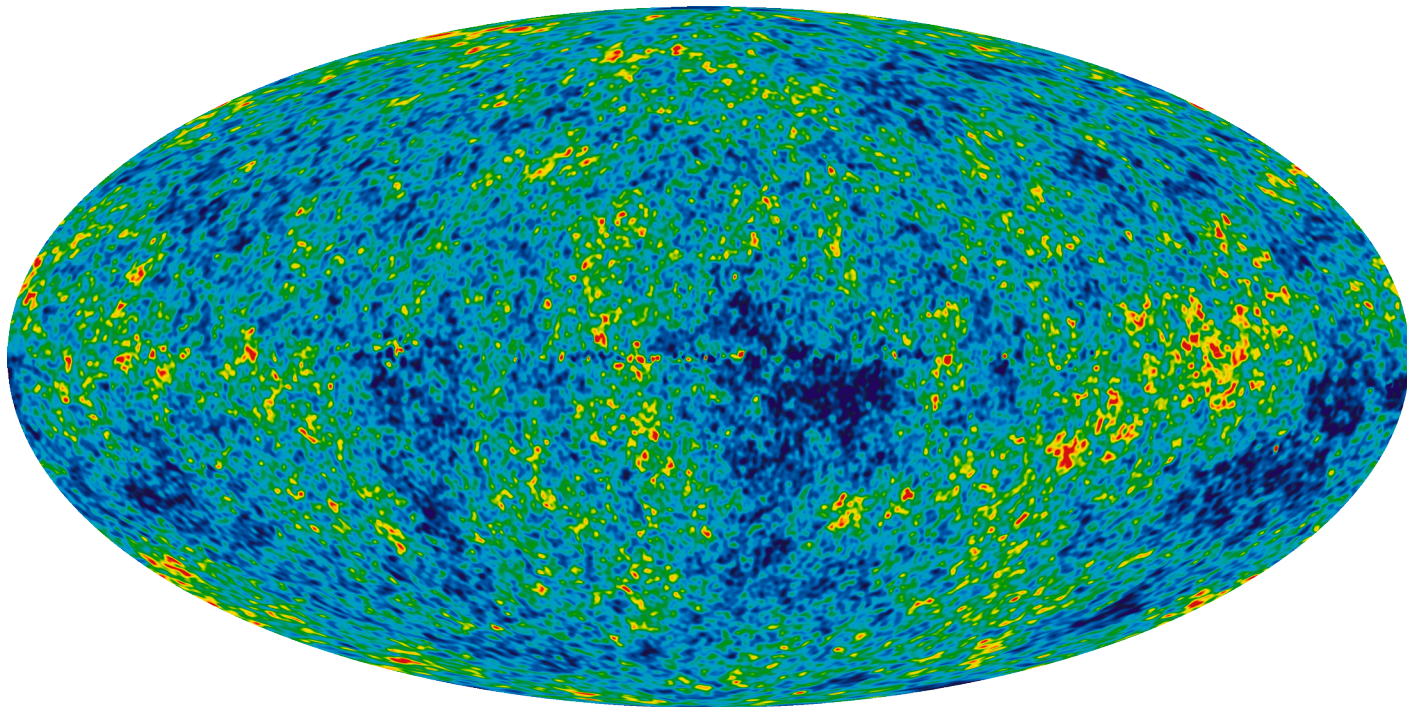
$$\text{Mass } m = (548.579909070 \pm 0.000000016) \times 10^{-6} \text{ u}$$

Particle Data Book (tavola delle proprietà delle particelle)

- M è la **MASSA**
- J è lo **SPIN**  numero di gradi di libertà indipendenti

E NIENT'ALTRO!

PERCHE'?



PERCHE'?

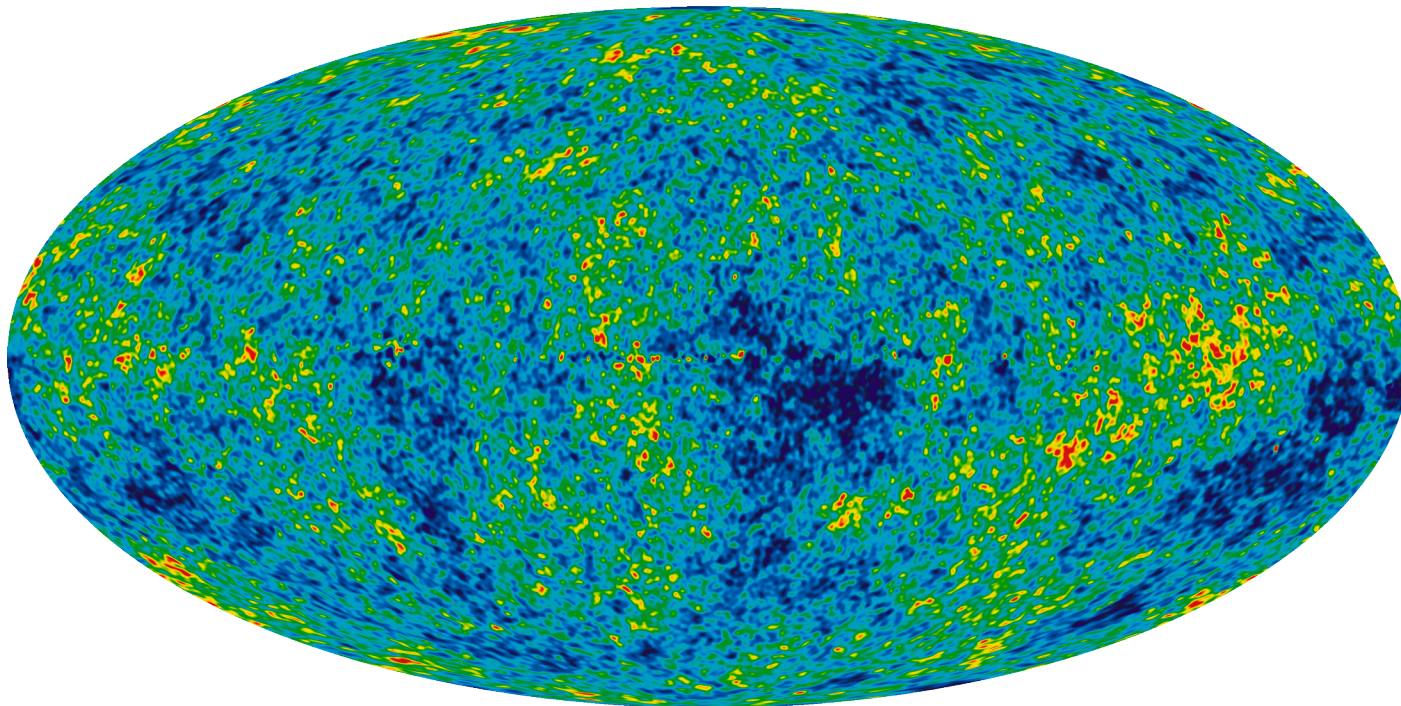
MASSA, SPIN E SPAZIOTEMPO

Lo spazio-tempo è omogeneo e isotropo



Non c'è un centro

Tutte le direzioni sono uguali



MASSA, SPIN E SPAZIOTEMPO

II

La massa e lo spin sono le uniche proprietà che non cambiano se viste da ogni punto di vista

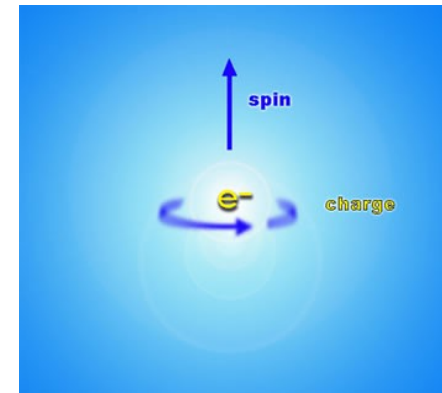
PARTICELLA ELEMENTARE:

HA SOLO MASSA E SPIN

NIENTE STRUTTURA INTERNA



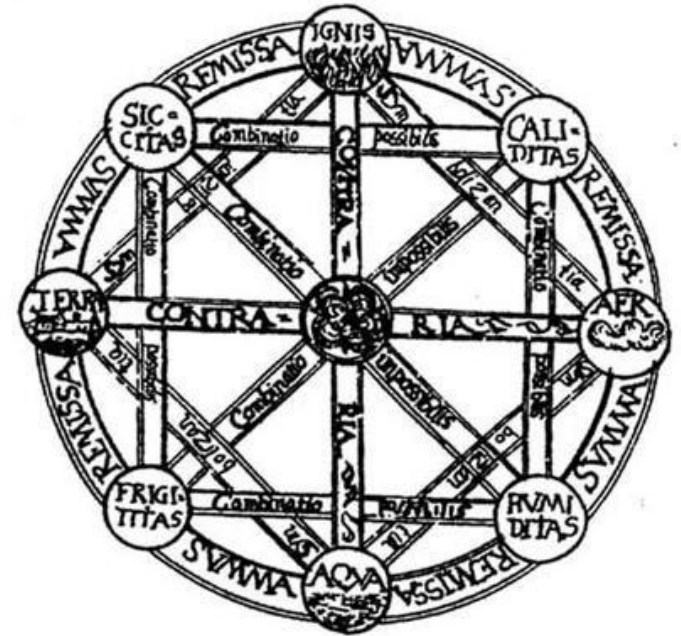
LA Xi NON E' ELEMENTARE



UNA PARTICELLA ELEMENTARE E' UN OGGETTO CHE HA SOLO MASSA E SPIN

ELEMENTI PER UNA TEORIA FONDAMENTALE

- **Come è fatto lo spaziotempo?**
(ha delle simmetrie?)
- **Che cosa esiste?**
(quali sono le particelle elementari?)



Ramon Llull, Ars Magna (1305)

ENTRAMBI SONO DATI SPERIMENTALI

LE PARTICELLE ELEMENTARI

	3 generazioni di fermioni			12 bosoni di gauge
	I	II	III	
massa →	2,4 MeV	1,27 GeV	171,2 GeV	0
carica →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
nome →	u up	c charm	t top	γ fotone
Quark	4,8 MeV	104 MeV	4,2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	d down	s strange	b bottom	g gluone
Leptoni	<2,2 eV	<0,17 MeV	<15,5 MeV	91,2 GeV ⁰
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e neutrino elettronico	ν_μ neutrino muonico	ν_τ neutrino tauonico	Z ⁰ forza debole
Bosoni (Forze)	0,511 MeV	105,7 MeV	1,777 GeV	80,4 GeV
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	e elettrone	μ muone	τ tauone	W [±] forza debole

- Perché queste, con questi valori di massa e spin?
- Perché tre generazioni?

Sappiamo che sono tutte, e tutte elementari, con una risoluzione di 10^{-19} m
 (un decimo di milionesimo di milionesimo di milionesimo di metro)
 (un decimillesimo del raggio del protone)
 (un millesimo di milionesimo del raggio di un atomo di idrogeno)

CHE COS'E' UN'INTERAZIONE?

UNO SCAMBIO DI PARTICELLE ELEMENTARI!

(non esiste l' “azione a distanza”)

**DUE PATTINATORI
SI SCAMBIANO UNA PALLA**

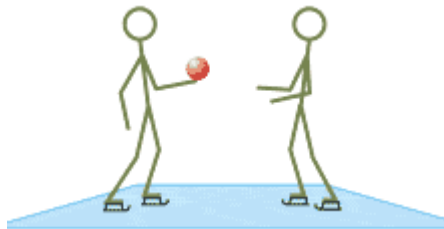


**DUE ELETTRONI
SI SCAMBIANO UN FOTONE (luce)**



CHE COS'E' UN'INTERAZIONE?

DUE PATTINATORI
SI SCAMBIANO UNA PALLA



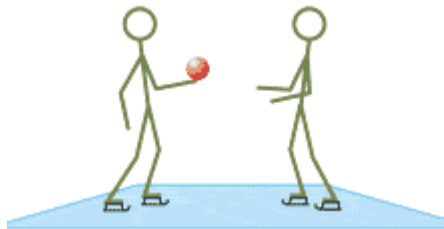
DUE ELETTRONI
SI SCAMBIANO UN FOTONE



QUALI SONO GLI “SCAMBI” PERMESSI?

CHE COS'E' UN'INTERAZIONE?

DUE PATTINATORI
SI SCAMBIANO UNA PALLA



DUE ELETTRONI
SI SCAMBIANO UN FOTONE



QUALI SONO GLI “SCAMBI” PERMESSI?

TUTTI QUELLI CHE NON SONO VIETATI!

TUTTO CIO' CHE NON E' VIETATO ACCADE

- 1* Die Welt ist alles, was der Fall ist.
1.1 Die Welt ist die Gesamtheit der Tatsachen, nicht der Dinge.
1.11 Die Welt ist durch die Tatsachen bestimmt und dadurch, dass es alle Tatsachen sind.
1.12 Denn, die Gesamtheit der Tatsachen bestimmt, was der Fall ist und auch, was alles nicht der Fall ist.
1.13 Die Tatsachen im logischen Raum sind die Welt.
1.2 Die Welt zerfällt in Tatsachen.
1.21 Eines kann der Fall sein oder nicht der Fall sein und alles übrige gleich bleiben.
2 Was der Fall ist, die Tatsache, ist das Bestehen von Sachverhalten.
2.01 Der Sachverhalt ist eine Verbindung von Gegenständen. (Sachen, Dingen.)
2.011 Es ist dem Ding wesentlich, der Bestandteil eines Sachverhaltes sein zu können.
2.012 In der Logik ist nichts zufällig: Wenn das Ding im Sachverhalt vorkommen kann, so muss die Möglichkeit des Sachverhaltes im Ding bereits präjudiziert sein.
2.0121 Es erschiene gleichsam als Zufall, wenn dem Ding, das allein für sich bestehen könnte, nachträglich eine Sachlage passen würde.
Wenn die Dinge in Sachverhalten vorkommen können, so muss dies schon in ihnen liegen.
(Etwas Logisches kann nicht nur-möglich sein.
Die Logik handelt von jeder Möglichkeit und alle Möglichkeiten sind ihre Tatsachen.)

* Die Decimalzahlen als Nummern der einzelnen Sätze deuten das logische Gewicht der Sätze an, den Nachdruck, der auf ihnen in meiner Darstellung liegt, Die Sätze n. 1, n. 2, n. 3, etc., sind Bemerkungen zum Sätze No. n; die Sätze n.m1, n.m2, etc. Bemerkungen zum Sätze No. n.m; und so weiter.

LE LEGGI DI CONSERVAZIONE:

- Tutto ciò che non è vietato accade
- Le leggi fisiche sono un insieme di divieti
(leggi di conservazione)
- I “divieti” sono fatti sperimentali

ESEMPIO DI DIVIETO

CONSERVAZIONE DELLA CARICA ELETTRICA

La carica elettrica non si crea e non si distrugge
Non può accadere un processo fisico in cui cambia la carica elettrica:

....sempre le tavole:

Citation: C. Patrignani *et al.* (Particle Data Group), Chin. Phys. C, **40**, 100001 (2016) and 2017 update

TESTS OF NUMBER CONSERVATION LAWS

ELECTRIC CHARGE (Q)

$e \rightarrow \nu_e \gamma$ and astrophysical limits

$\Gamma(n \rightarrow p \nu_e \bar{\nu}_e) / \Gamma_{\text{total}}$

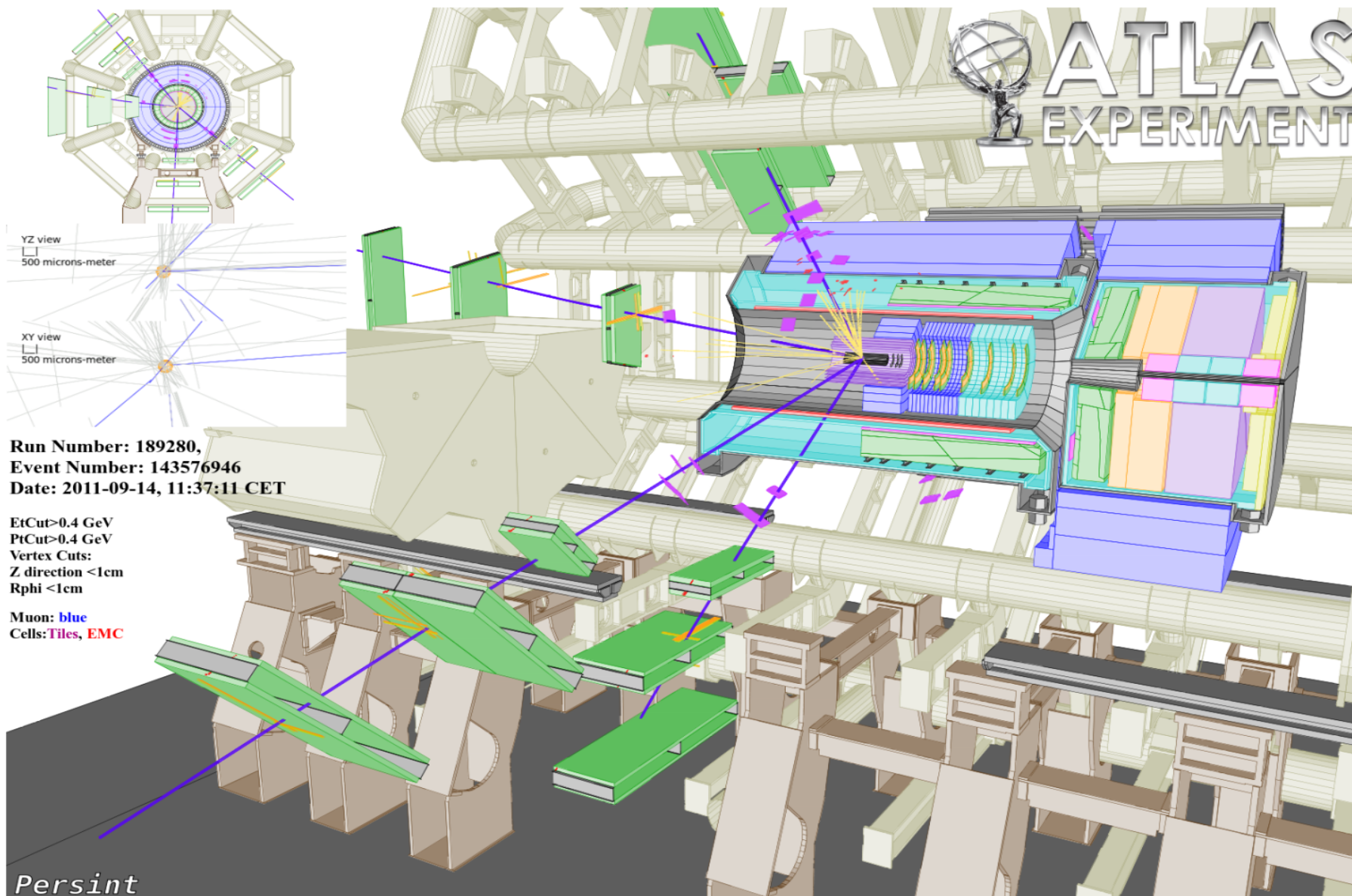
$[\nu] > 6.6 \times 10^{28} \text{ yr, CL} = 90\%$

$< 8 \times 10^{-27}, \text{ CL} = 68\%$

...e molti altri: ad esempio un protone non può trasformarsi in positrone
(stessa carica)

...MA TUTTO IL RESTO PUO' ACCADERE

Due protoni si scontrano, compare un bosone di Higgs extra, che poi sparisce e produce quattro muoni (fratelli pesanti dell'elettrone)



LE SIMMETRIE

IL TEOREMA DI NOETHER (1918)

Ad ogni divieto (legge di conservazione)
è associata una simmetria



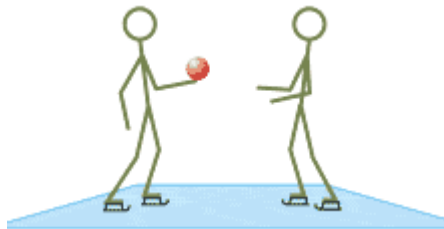
Emmy Noether (1882-1935)

UNA TEORIA DI INTERAZIONI E':

- Una lista di particelle elementari
- Un elenco di simmetrie

QUALI INTERAZIONI SONO “FONDAMENTALI”?

DUE PATTINATORI
SI SCAMBIANO UNA PALLA



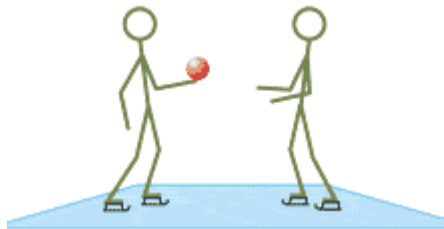
DUE ELETTRONI
SI SCAMBIANO UN FOTONE



QUALI SONO I TIPI DI SCAMBIO (INTERAZIONI) PERMESSI?

QUALI INTERAZIONI SONO “FONDAMENTALI”?

DUE PATTINATORI
SI SCAMBIANO UNA PALLA



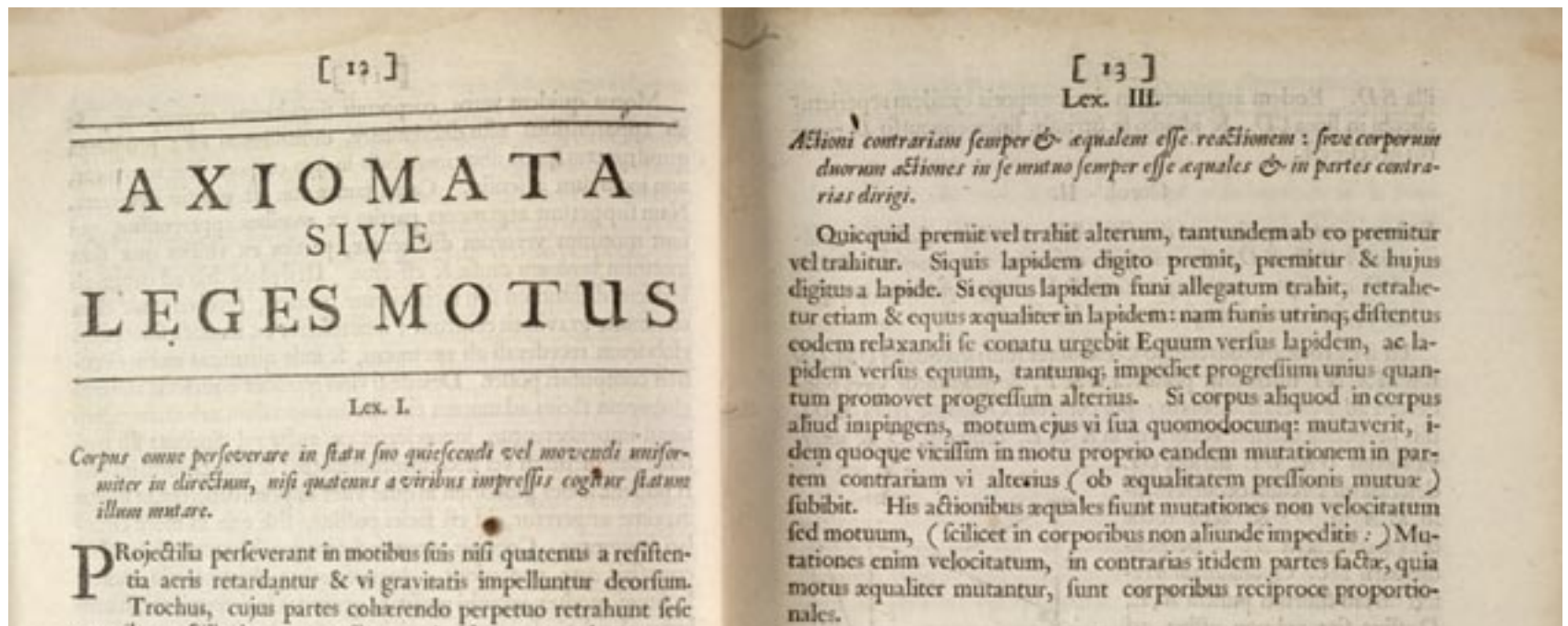
DUE ELETTRONI
SI SCAMBIANO UN FOTONE



QUALI SONO I TIPI DI SCAMBIO (INTERAZIONI) PERMESSI?

- Possono dipendere dalla posizione dei pattinatori?
- E dal loro orientamento?
- E dalla loro velocità?

LA TERZA LEGGE DI NEWTON



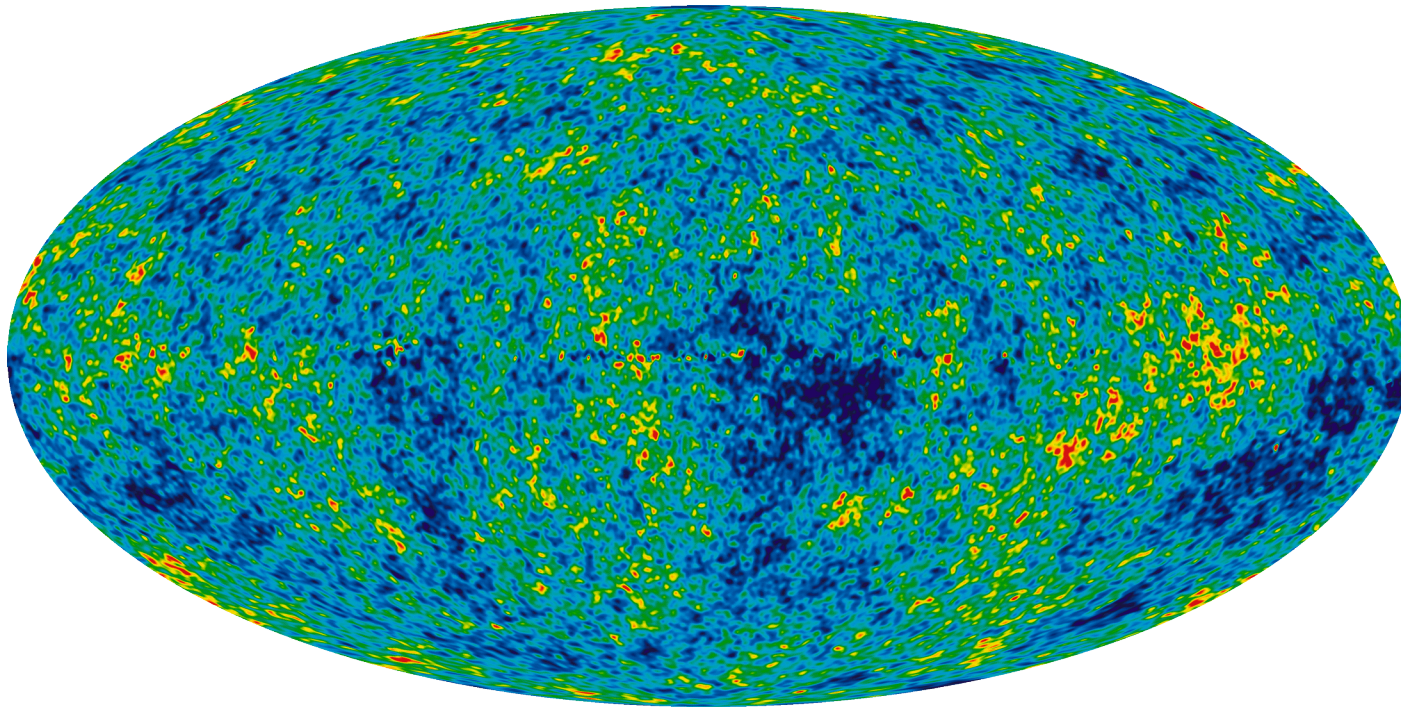
(I. Newton, Principia, 1687)

**L'INTERAZIONE E' LA STESSA
OVUNQUE SI TROVINO I PATTINATORI**

**LE INTERAZIONI NON POSSONO
DIPENDERE DALLA POSIZIONE**



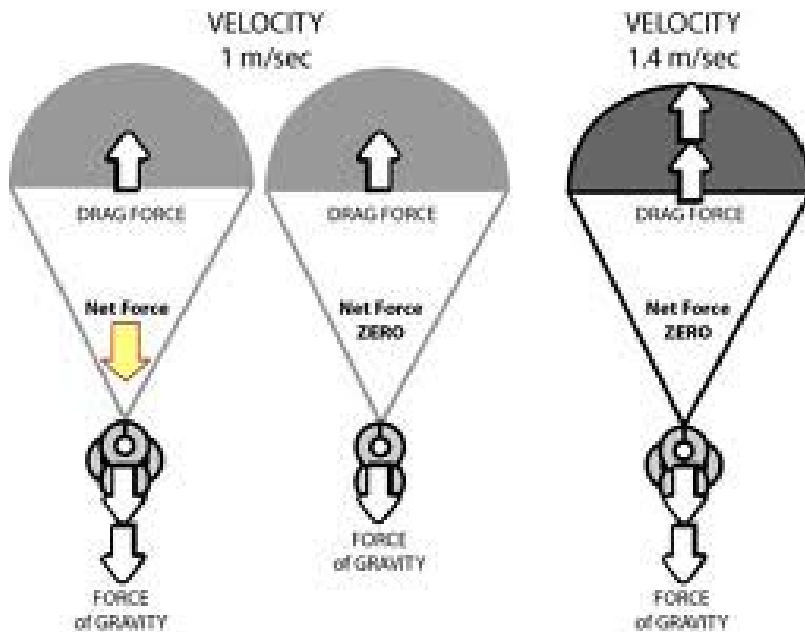
LO SPAZIOTEMPO NON HA UNA DIREZIONE PRIVILEGIATA



L'INTERAZIONE NON DIPENDE DALL'ORIENTAMENTO

E LA VELOCITA'?

UNA FORZA CHE DIPENDE DALLA VELOCITA'



La resistenza dell'aria esercita sul paracadute una forza che cresce al crescere della velocità

Il paracadutista rallenta finché la resistenza e la gravità si bilanciano, poi scende a velocità costante

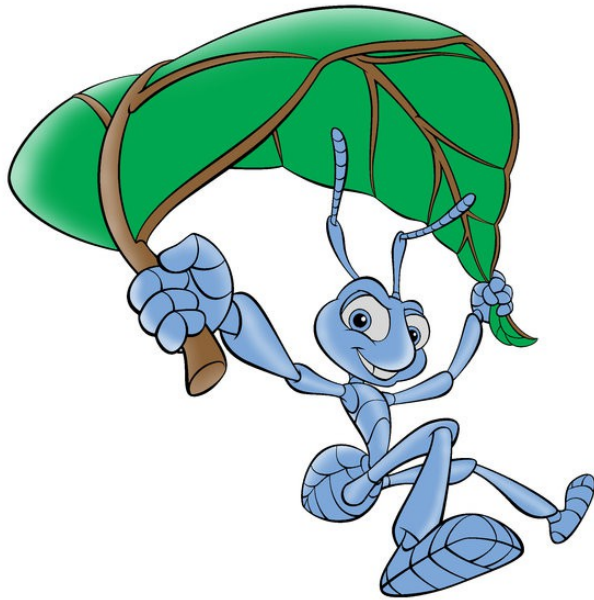
Se il paracadutista pesa di più la velocità costante di discesa è maggiore

UN MODELLINO IN SCALA SCENDE AD UNA VELOCITA' DIVERSA!

Se raddoppio le dimensioni di tutto il paracadute scende molto più veloce!

DIPENDENZA DALLA SCALA

Riesco a capire se sto vedendo il film di un modellino in scala?



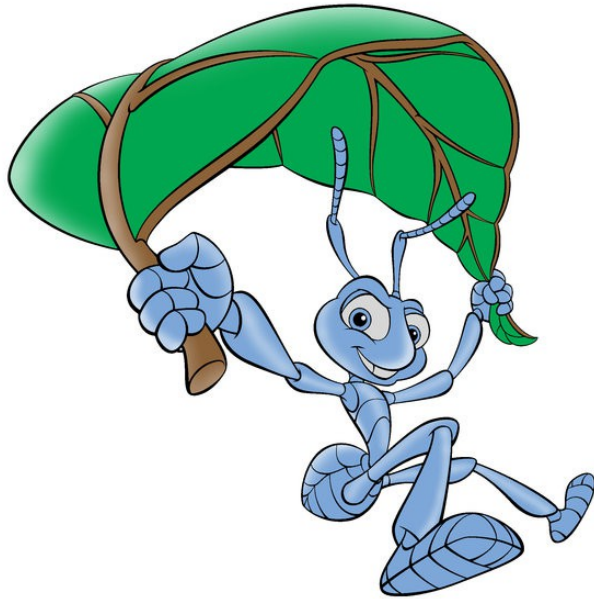
A bug's life, 1998

DIPENDENZA DALLA SCALA

Riesco a capire se sto vedendo il film di un modellino in scala?

SI'

La resistenza dell'aria è una forza
che dipende dalla scala!



A bug's life, 1998

La forza è rilevante

solo per oggetti

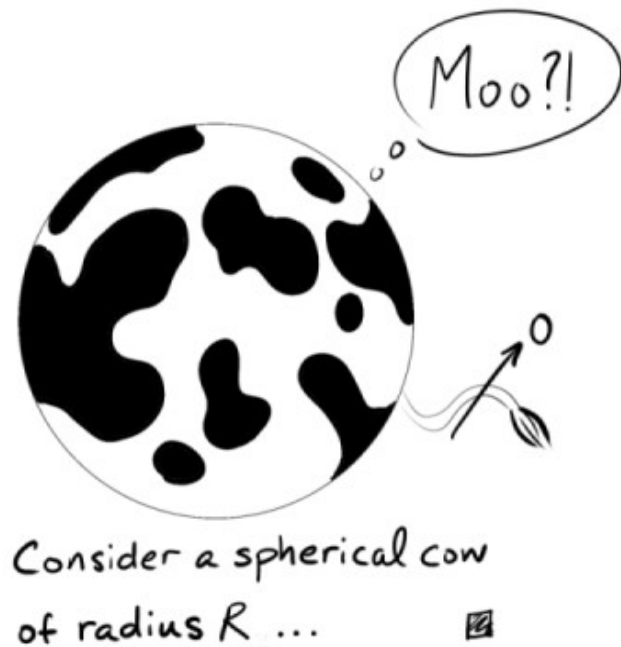
di una certa dimensione

**L'INTENSITÀ DELLA FORZA
HA UNA DIMENSIONE CARATTERISTICA**

LE FORZE DIPENDENTI DALLA SCALA

e

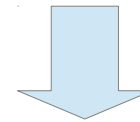
L'APPROSSIMAZIONE DELLE VACCHE SFERICHE



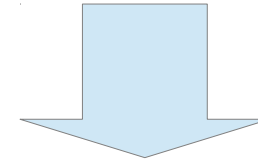
VISTA DA LONTANO

QUALUNQUE COSA HA LO STESSO ASPETTO!

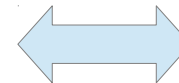
VISTO DA VICINO



PICCOLA DISTANZA



STRUTTURA "FONDAMENTALE"



MOLTE FORZE

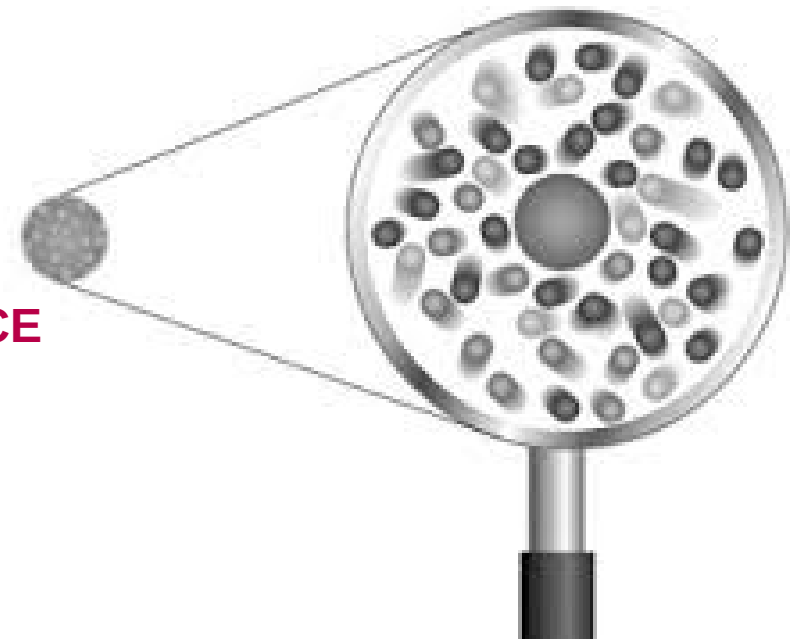
INDETERMINAZIONE

**Una particella quantistica è circondata
da una nuvola di particelle “virtuali”**

la cui creazione e scomparsa effimera è compatibile con tutti i divieti

Esempio: la loro carica elettrica totale è nulla

**ALL'AUMENTARE DELLA RISOLUZIONE
LA DENSITA' DI PARTICELLE VIRTUALI CRESCE**

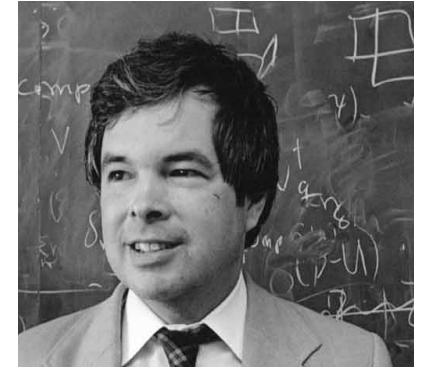


PIU' PARTICELLE VIRTUALI



PIU' FORZE

LA RINORMALIZZAZIONE DI WILSON



Kenneth G. Wilson (1936-2013)

FORZA CHE DIPENDE DALLA SCALA

+

NUBE DI PARTICELLE VIRTUALI

IL NUMERO DI FORZE INDIPENDENTI

AUMENTA INDEFINITAMENTE A CORTA DISTANZA

IN MODO CALCOLABILE



PRINCIPIO DI RINORMALIZZABILITA' I

LE FORZE DIPENDENTI DALLA SCALA SONO VIETATE

NON E' UN FATTO SPERIMENTALE, MA

UN'IPOTESI TEORICA

UN PREGIUDIZIO FILOSOFICO

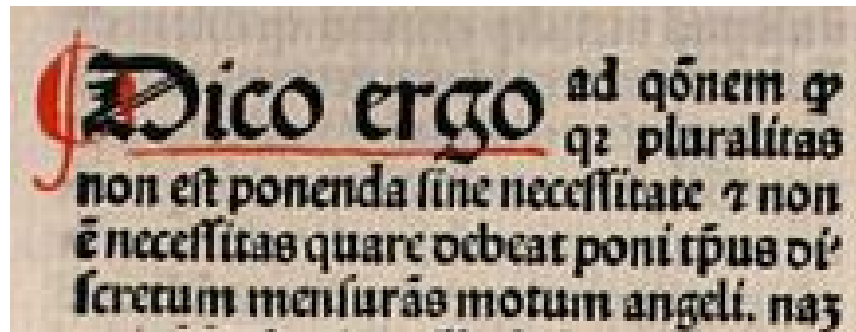
RASOIO DI OCCAM



William of Ockham (1287-1347)

PRINCIPIO DI RINORMALIZZABILITA' II

Se una forza appare dipendere dalla scala vuol dire che la teoria è incompleta:
devono esistere particelle e forze mancanti



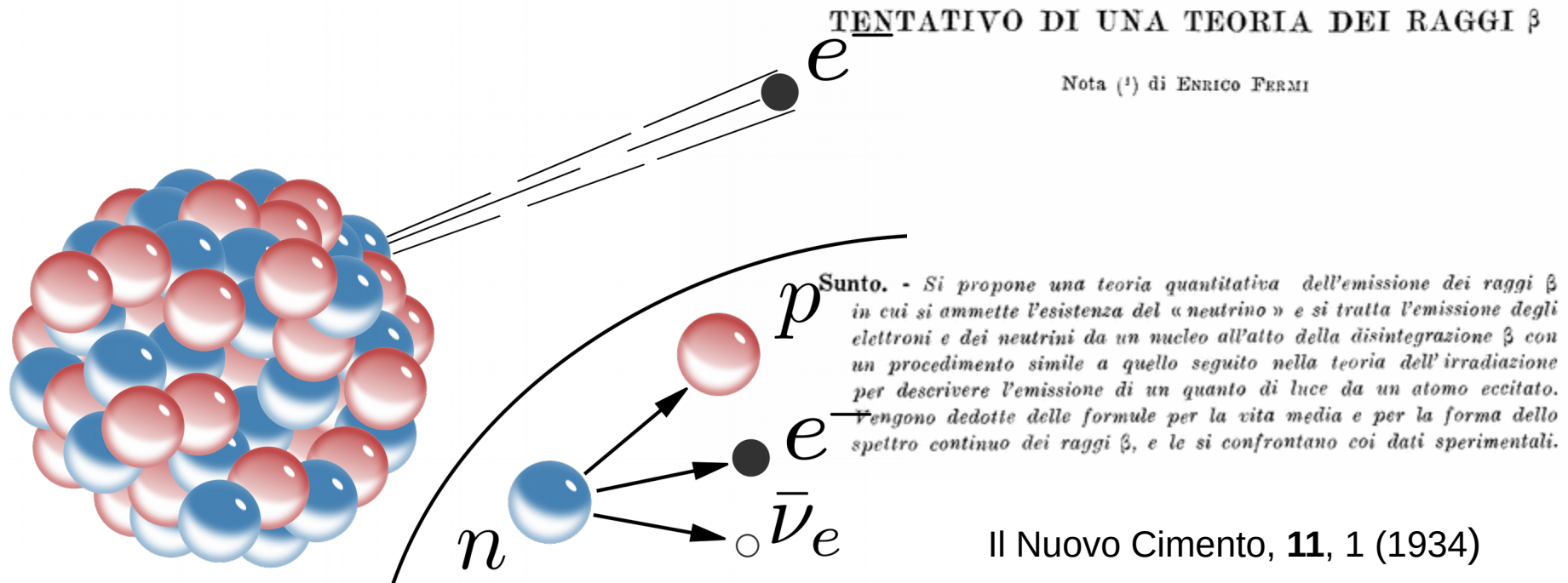
John Duns Scotus (1266-1308)

UN NUMERO FINITO DI FORZE E PARTICELLE SCONOSCIUTE ANZICHE'

UN REGRESSO INFINITO DI FORZE GENERATE DA QUELLO CHE SI OSSERVA

ESEMPIO: LA RADIOATTIVITA'

LA TEORIA DI FERMİ



DESCRIVE IL PROCESSO DI TRASFORMAZIONE DI
UN NEUTRONE IN UN PROTONE, UN ELETTRONE ED UN NEUTRINO

RICHIEDE UNA NUOVA “FORZA DEBOLE” LA CUI INTENSITA' E' FISSATA DALLA

COSTANTE DI FERMİ

$$G_F = (10^{-18} \text{ m})^2$$

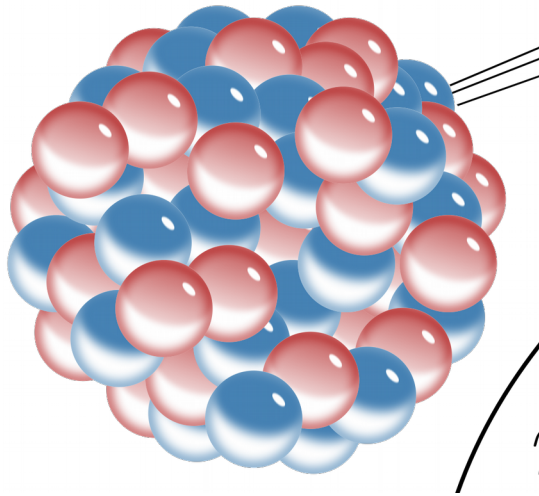
(un milionesimo di milionesimo di milionesimo di metro, quadrato)

ESEMPIO: LA RADIOATTIVITA'

LA TEORIA DI FERMİ

TENTATIVO DI UNA TEORIA DEI RAGGI β

ENRICO FERMI



DESCRIVE IL PRODOTTO
UN NEUTRONE IN



«quantitativa dell'emissione dei raggi β e del neutrino» e si tratta l'emissione degli elettroni all'atto della disintegrazione β con il seguito nella teoria dell'irradiazione di un quanto di luce da un atomo eccitato. Per la vita media e per la forma dello spettro si confrontano coi dati sperimentali.

Rivista di Fisica, **11**, 1 (1934)

IL NEUTRINO

RICHIEDE UNA NUOVA "FORZA DEBOLE" LA CUI INTENSITA' E' FISSATA DALLA

COSTANTE DI FERMİ

$$G_F = (10^{-18} \text{ m})^2$$

(un milionesimo di milionesimo di milionesimo di metro, quadrato)

LA TEORIA ELETTRODEBOLE (MODELLO STANDARD)

LA FORZA DEBOLE DI FERMİ E' DOVUTA
ALLO SCAMBIO DI UNA NUOVA PARTICELLA : il bosone W

LE FORZE DOVUTE ALLO SCAMBIO DEL BOSONE W SONO INVARIANTI DI SCALA

IPOTESI TEORICA: Weinberg 1967



VERIFICA SPERIMENTALE: Rubbia 1983



CHE COS'E' UNA TEORIA DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI

- Una lista di particelle elementari osservate
- Una lista di divieti  una lista di simmetrie

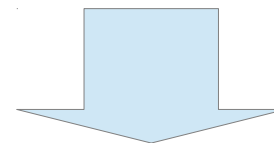
L'INTENSITA' DI TUTTE LE FORZE INVARIANTI DI SCALA COMPATIBILI CON ESSE

	3 generazioni di fermioni			12 bosoni di gauge
	I	II	III	
massa→	2,4 MeV	1,27 GeV	171,2 GeV	0
carica→	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin→	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
nome→	u up	c charm	t top	γ fotone
Quark	4,8 MeV	104 MeV	4,2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	d down	s strange	b bottom	g gluone
Leptoni	<2,2 eV	<0,17 MeV	<15,5 MeV	91,2 GeV ⁰
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e neutrino elettronico	ν_μ neutrino muonico	ν_τ neutrino tauonico	Z forza debole
	0,511 MeV	105,7 MeV	1,777 GeV	80,4 GeV
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	e elettrone	μ muone	τ tauone	$W^\pm$ forza debole
				Bosoni (Forze)

IL MODELLO STANDARD

Simmetria $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ (esatta)

TRE "GRUPPI DI DIVIETI"



TRE INTERAZIONI FONDAMENTALI

IL MODELLO STANDARD

3 generazioni di fermioni				12 bosoni di gauge
	I	II	III	
massa→	2,4 MeV	1,27 GeV	171,2 GeV	0
carica→	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin→	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
nome→	u up	c charm	t top	γ fotone
Quark	4,8 MeV	104 MeV	4,2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	d down	s strange	b bottom	g gluone
Leptoni	<2,2 eV	<0,17 MeV	<15,5 MeV	91,2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e neutrino elettronico	ν_μ neutrino muonico	ν_τ neutrino tauonico	Z forza debole
Bosoni (Forze)	0,511 MeV	105,7 MeV	1,777 GeV	80,4 GeV
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	e elettrone	μ muone	τ tauone	$W^\pm$ forza debole

Simmetria $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ (esatta)

Alcune simmetrie “accidentali”

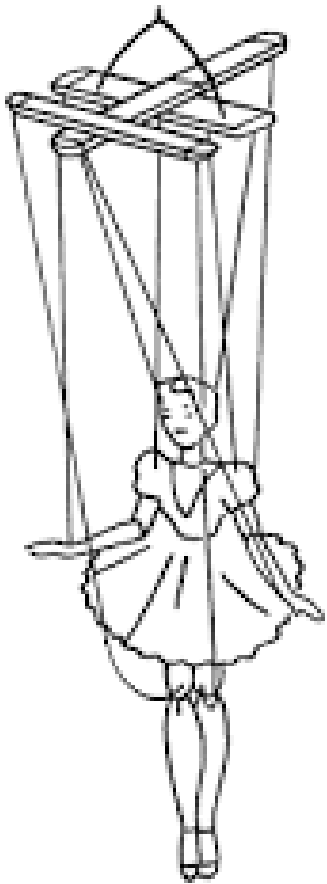
ESEMPIO: masse di alcune particelle quasi uguali

- **PERCHE' QUESTE PARTICELLE?**
- **PERCHE' QUESTE SIMMETRIE?**
- **E LA GRAVITA'?** (la quarta interazione)

IL PRINCIPIO DI NATURALITÀ

**ABBIAMO BISOGNO DI CONOSCERE LA STRUTTURA DEL PROTONE
PER PROGETTARE UN'AUTOMOBILE?**

SCALE DIVERSE SONO SEPARATE E NON SI INFLUENZANO!



ricordiamo il principio di rinormalizzabilità:

tartarughe microscopiche importano solo a scale microscopiche!

**GERARCHIE INNATURALI TRA PARAMETRI
POSSONO LEGARE SCALE MOLTO DIVERSE**

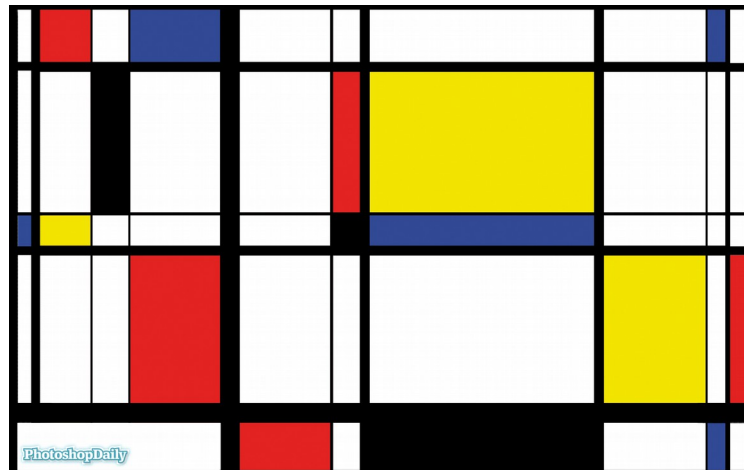
NATURALEZZA DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI

LA TEORIA OSSERVATA HA DIVERSI PARAMETRI

masse delle particelle, intensità delle forze....

IPOTESI DI NATURALEZZA:

- **I PARAMETRI LIBERI ADIMENSIONALI SONO DI ORDINE UNO**
(non un milione, o un milionesimo)
- **SE I PARAMETRI SONO VARIATI LEGGERMENTE, LA TEORIA RESTA SENSATA**
(se variati di un fattore due magari no, ma se di una parte su un milione sì)



P. Mondrian (1877-1944)

IL PROBLEMA DEL BOSONE DI HIGGS



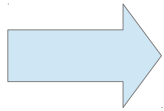
Tutte le particelle elementari hanno più gradi di libertà
($\text{spin} > 0$)

TRANNE IL BOSONE DI HIGGS

$\text{spin} = 0$



Una particella con un solo grado di libertà non ha "forma"



La nube di particelle virtuali la gonfia come un palloncino

Una particella di $\text{spin } 0$ dovrebbe avere massa infinita (=non esiste)

.....SALVO MIRACOLOSE CANCELLAZIONI O PARAMETRI MINUSCOLI

IL BOSONE DI HIGGS E' INNATURALE!

L'ERA DELLA POST-NATURALEZZA

CERN-TH-2017-205

E ALLORA?

- Multiverso e palude
- Selezione dinamica, statistica, e censura
- Costante cosmologica
- Complessità emergente
- Simmetria approssimata e invarianza emergente
- Materia oscura
-

18 OCT 2017

The Dawn of the Post-Naturalness Era

Gian Francesco Giudice

CERN, Theoretical Physics Department, Geneva, Switzerland

Abstract

In an imaginary conversation with Guido Altarelli, I express my views on the status of particle physics beyond the Standard Model and its future prospects.



Guido Altarelli (1941-2015)

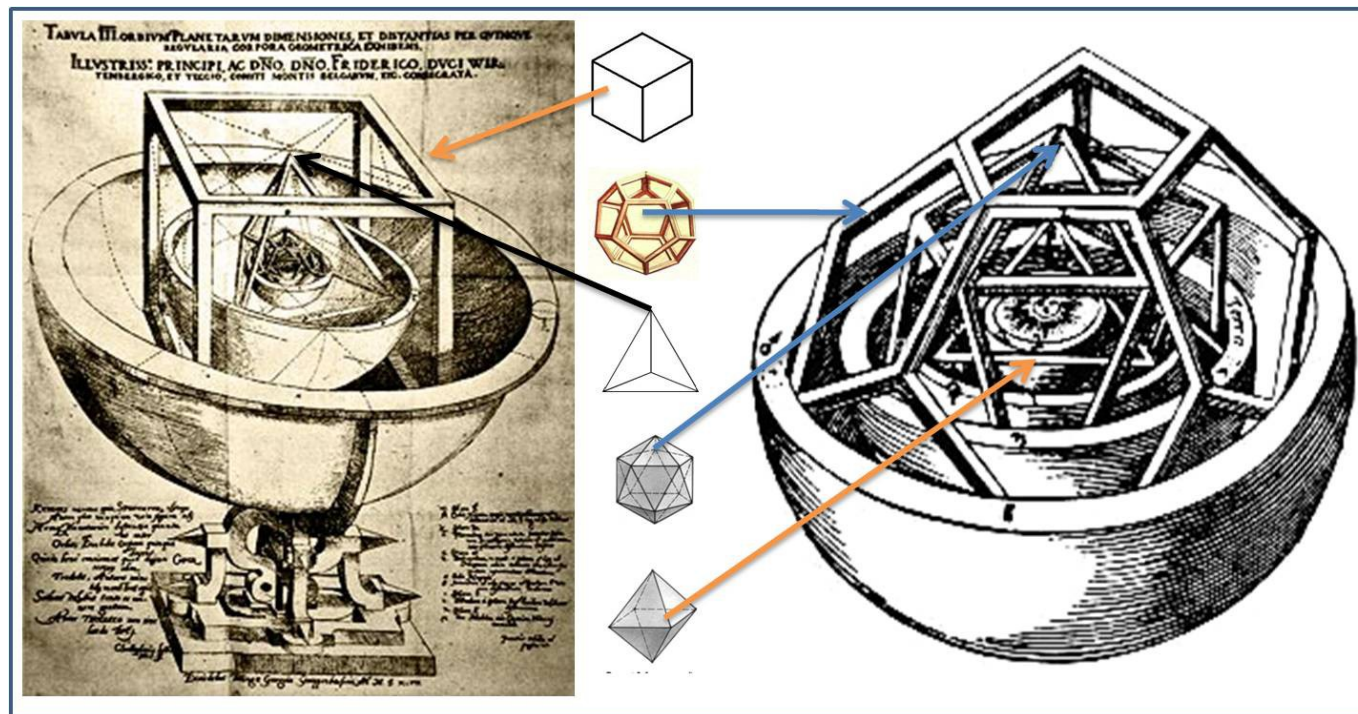


Gian Francesco Giudice (1961)

QUALI SONO LE DOMANDE GIUSTE?

CHE COSA E' UN MISTERO E CHE COSA E' UN CASO?

Keplero: i raggi delle orbite dei pianeti del sistema solare
spiegate in termini di solidi platonici



Johannes Kepler, *Mysterium Cosmographicum*, 1596

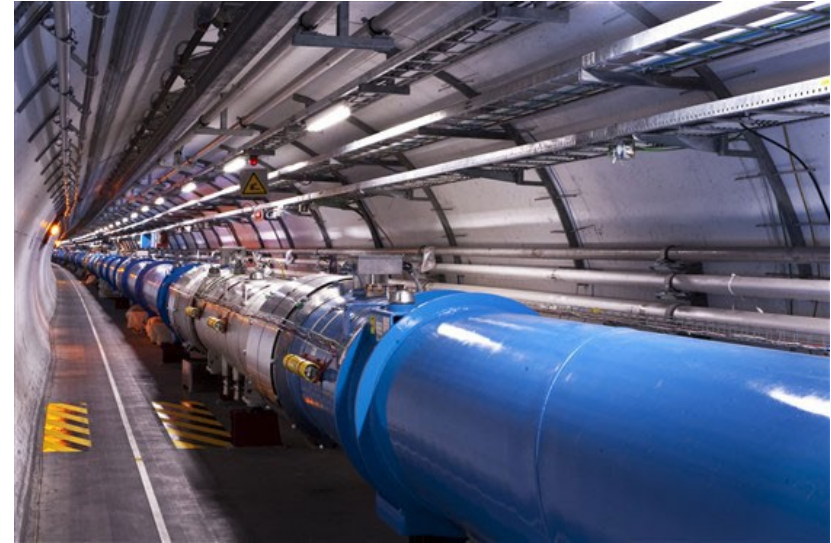
COME SCOPRIRLO

IL METODO SPERIMENTALE E' UN SCELTA FILOSOFICA

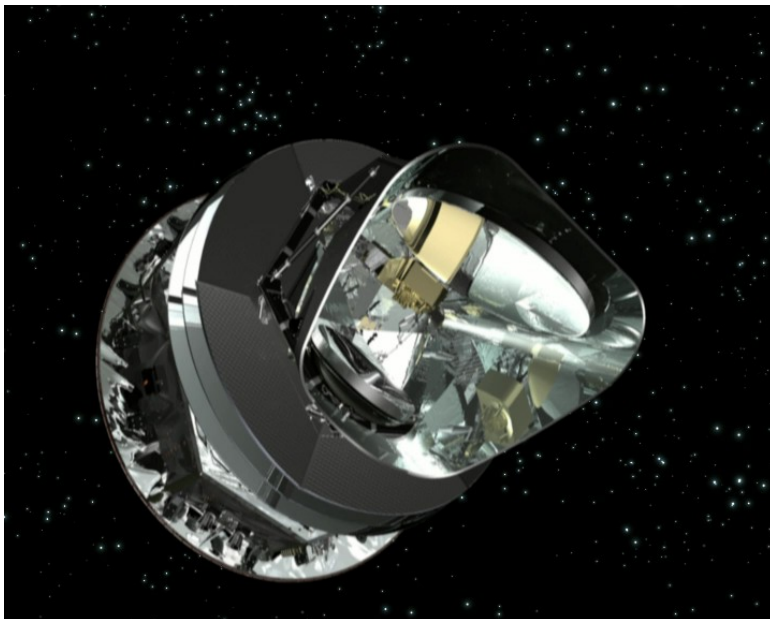
La scelta di un criterio di razionalità
è un atto umano

(P.K.Feyerabend, Wissenschaft als Kunst, 1984)

LHC



PLANCK



VIRGO



COME SCOPRIRLO

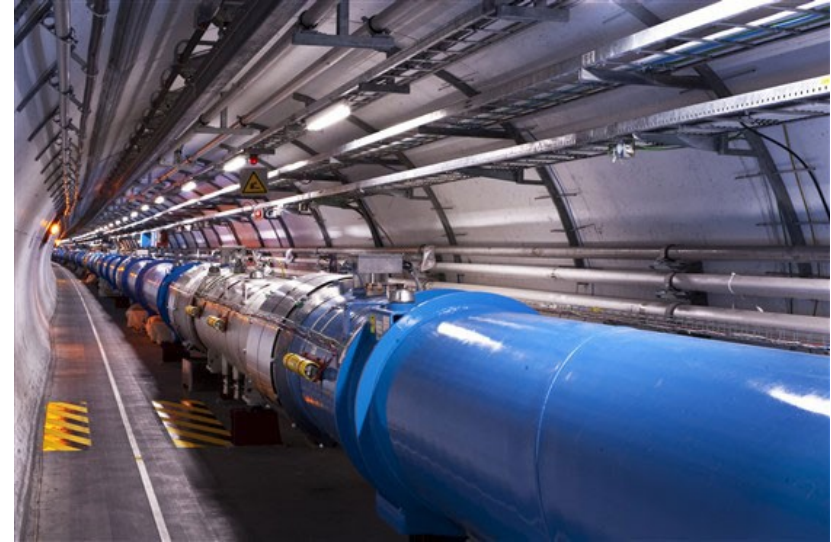
IL METODO SPERIMENTALE E' UN SCELTA FILOSOFICA

La scelta di un criterio di razionalità
è un atto umano

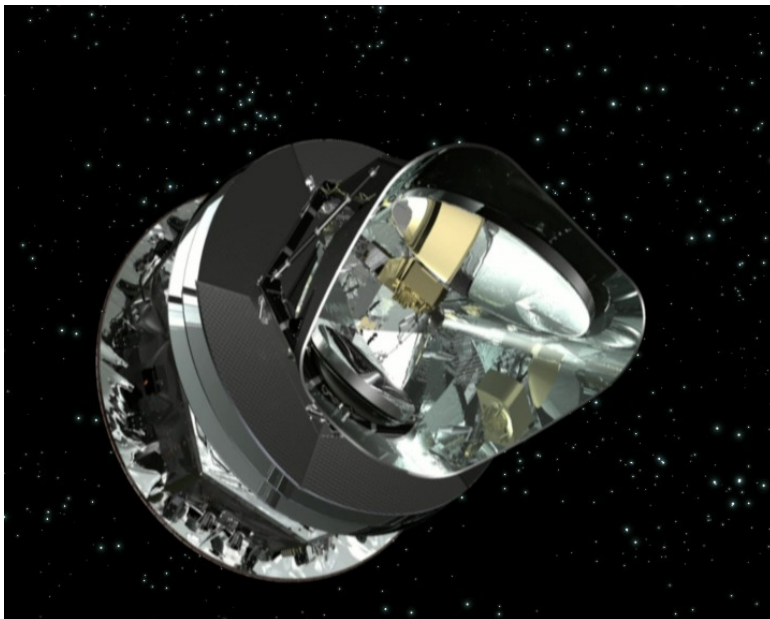
(P.K.Feyerabend, Wissenschaft als Kunst, 1984)

FINORA SI E' RIVELATA MOLTO EFFICACE

LHC



PLANCK



VIRGO

