

# Fisica delle particelle

- Il Modello Standard
- Unificazione delle forze
- Le onde gravitazionali
- Al di là del modello standard

---

Sami Ullah

2020

# Modello Standard

- Nasce dall'unione del modello a quark, QED e QCD
- Spiega la materia con un numero limitato di componenti indivisibili, che sono di 2 tipi:
  - Particelle-massa (quark e leptoni)
  - Particelle-forza (bosoni)

I leptoni sono 3:

	carica	spin	massa	
Elettrone	-1	1/2	0.511MeV/c <sup>2</sup>	
Muone	-1	1/2	207 volte di e	decade in elettrone, neutrino e antineutrino
Tauone	-1	1/2	3500 volte di e	può decadere in adroni

I neutrini hanno spin  $\frac{1}{2}$  e massa irrilevante, interagiscono pochissimo con la materia

Sono di 3 tipi :

il neutrino elettronico  $\nu_e$ ,

il neutrino muonico  $\nu_\mu$

il neutrino tauonico  $\nu_\tau$

### Three Generations of Matter (Fermions)

	I	II	III	
mass →	2.4 MeV/c <sup>2</sup>	1.27 GeV/c <sup>2</sup>	171.2 GeV/c <sup>2</sup>	0
charge →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name →	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	<b>γ</b> photon
Quarks	4.8 MeV/c <sup>2</sup>	104 MeV/c <sup>2</sup>	4.2 GeV/c <sup>2</sup>	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom	<b>g</b> gluon
Leptons	<2.2 eV/c <sup>2</sup>	<0.17 MeV/c <sup>2</sup>	<15.5 MeV/c <sup>2</sup>	91.2 GeV/c <sup>2</sup>
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	<b>ν<sub>e</sub></b> electron neutrino	<b>ν<sub>μ</sub></b> muon neutrino	<b>ν<sub>τ</sub></b> tau neutrino	<b>Z<sup>0</sup></b> Z boson
0.511 MeV/c <sup>2</sup>	105.7 MeV/c <sup>2</sup>	1.777 GeV/c <sup>2</sup>	80.4 GeV/c <sup>2</sup>	
-1	-1	-1	±1	
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	<b>e</b> electron	<b>μ</b> muon	<b>τ</b> tau	<b>W<sup>±</sup></b> W boson
				?126 GeV/c <sup>2</sup>
				0
				0
				<b>H<sup>0</sup></b> Higgs boson
				Scalar Boson

6 QUARK E 6 LEPTONI

DIVISI IN 3 FAMIGLIE

L'universo è formato solo dalle particelle della prima famiglia.

Le particelle delle altre due famiglie possono essere prodotte solo nelle collisioni ad alta energia

# IL MODELLO STANDARD

- sei quark, che diventano dodici comprendendo i loro antiquark, e salgono a 36 tenendo conto che ognuno ha tre combinazioni diverse di carica di colore
- sei leptoni, che diventano dodici comprendendo i loro antileptoni;
- il fotone, che media l'interazione elettromagnetica, ed è l'antiparticella di se stesso;
- i tre astenoni  $W_{\pm}$  e  $Z^0$ , che mediano l'interazione nucleare debole;
- gli otto gluoni, che mediano l'interazione nucleare forte;
- il gravitone, che media l'interazione gravitazionale.

# Problema

Il gluone e il fotone sono privi di massa, mentre i mediatori, astenoni, sono assai massicci.

# Soluzione

L'universo è densamente popolato dai bosoni virtuali di Higgs, che si addensano intorno agli astenoni, aumentando la loro massa, mentre non interagiscono con fotoni e gluoni

# LA GRANDE UNIFICAZIONE DELLE FORZE

Einstein: è possibile unificare la relatività generale e il campo elettromagnetico, impresa diventata ardua con la scoperta delle forze nucleare debole e forte.

Posso essere aspetti diversi di un'unica forza originaria?  
Perché sono proprio 4 e hanno quei determinati valori?

## SOLUZIONE

Elaborazione di nuovi modelli in grado di dare conto di ogni fenomeno naturale: **TEORIA DEL TUTTO**.

# LA GRANDE UNIFICAZIONE

**1° passo: Nel 1968 Salam,  
Galashov e Weinberg  
proposero la teoria  
elettrodebole, confermata  
nel 1984 da Rubbia e Van  
Der Meer.**

**2° passo: Elaborazione  
della GUT, con la versione  
più famosa di  
Glashow-Georgi**

## Modello Glashow-Georgi:

-i quark e i leptoni sarebbero tra loro equivalenti e intercambiabili

-non conservare più né il numero barionico B né il numero leptonico L, ma solo la differenza  $B - L$

- Oltre ai 12 portatori di forza del Modello Standard, questa teoria prevede che esistano altri 12 bosoni vettori dotati di carica elettrodebole di colore, raggruppati complessivamente sotto il nome di bosoni X ed Y composti da quark e leptoni

$$X \rightarrow u + u$$

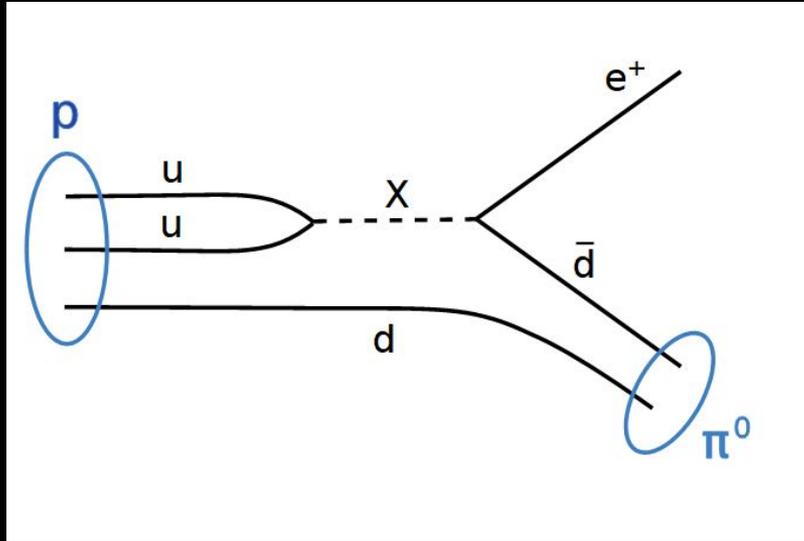
$$X \rightarrow e^* + d$$

$$Y \rightarrow e^* + u$$

$$Y \rightarrow d + u$$

$$Y \rightarrow d + \nu_e$$

# DECADIMENTO DEL PROTONE



## VERIFICA SPERIMENTALE

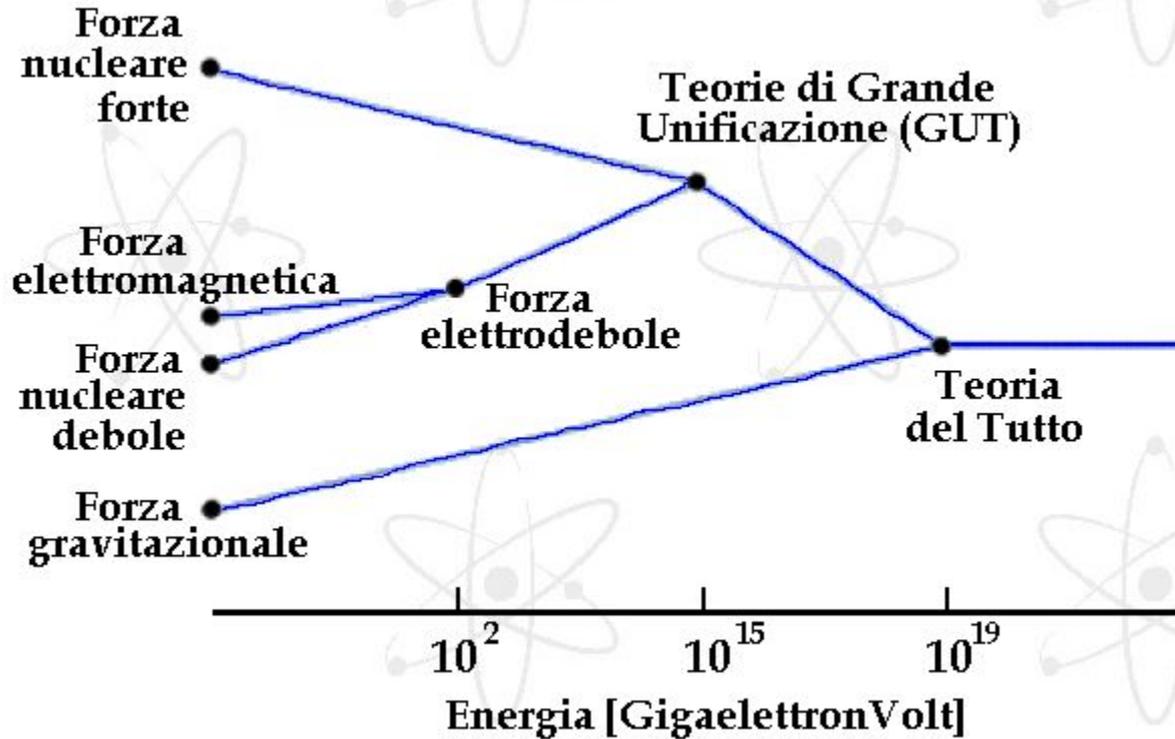
Il protone ha un'emivita di  $10^{29}$  anni

**ESPERIMENTO KAMIOKANDE:** un serbatoio cilindrico di 16 m in altezza e 15,6 m di diametro, contenente 3.000 tonnellate di acqua purissima e circondato da circa 1.000 tubi fotomoltiplicatori collegati alla superficie interna.

I fotomoltiplicatori dovevano captare le luci Čerenkov, equivalenti del boom sonico.

il Kamiokande conteneva in tutto circa 1033 protoni, avrebbe dovuto essere osservato almeno un decadimento del protone all'anno; invece, dopo vent'anni non ne aveva osservato neanche uno.

il vero problema per riuscire a sintetizzare la moltitudine dei fenomeni e la varietà delle forze è puramente energetico.



## LA GRAVITA' QUANTISTICA A LOOP

Conciliare la teoria che spiega la gravitazione su larga scala, cioè la Relatività Generale, con la Meccanica Quantistica che disciplina il comportamento delle particelle subatomiche, quantizzando l'ambiente in cui la gravità opera.

Lo spazio-tempo da continuo si trasforma in una sorta di reticolo di dimensioni infinitesimali.

### CONSEGUENZA

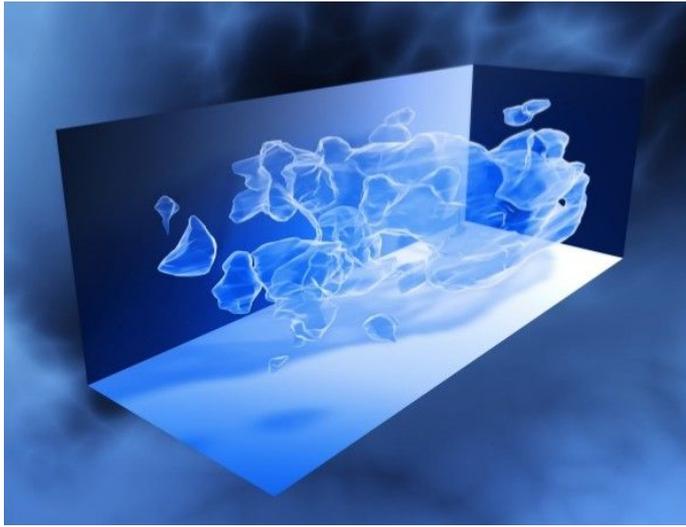
le equazioni alle differenze finite suggeriscono che nelle condizioni di altissima densità ed energia che caratterizzano una singolarità, la gravità si trasformi in una forza repulsiva. Perciò il nostro universo potrebbe non essere partito da zero, ma derivare da un universo precedente collassato dalla gravità attrattiva che, arrivata alla soglia massima di energia dello spazio-tempo, si è trasformata in gravità repulsiva, espandendosi. [Big Bounce](#).

# LA SUPERSIMMETRIA

**IPOSTESI:** la materia visibile dell'universo fosse solo una piccola parte di quella visibile nell'universo.

Rubin e Ford scoprirono che la rotazione della grande Galassia M31 di Andromeda era anomala: la sua periferia ruotava così velocemente che avrebbe dovuto essere proiettata fuori dalla galassia per opera della forza centrifuga, inoltre Rubin scoprì che le stelle non seguono la terza legge di Keplero, infatti hanno una velocità costante all'aumentare della massa e quindi molto superiore alla velocità di fuga.

Perciò al loro interno deve trovarsi della massa di cui non si tiene conto quando si somma la massa di tutte le parti visibili. Il rapporto tra massa invisibile e massa visibile è di 30 a 1 nelle galassie come la Via Lattea



1° prova dell'esistenza della materia oscura: deflessione della luce ad opera della gravità, riscontrabile anche in punti dove non era presente massa visibile.

2° prova: i raggi cosmici contengono una piccola quantità di particelle di antimateria, essenzialmente positroni e antiprotoni, che nella maggior parte dei casi sono prodotte dalle collisioni tra raggi cosmici altamente energetici e il gas interstellare; una piccola percentuale invece potrebbe derivare da processi di annichilazione o di decadimento della materia oscura.

---

## La materia oscura viene distinta tra "barionica" e "non barionica":

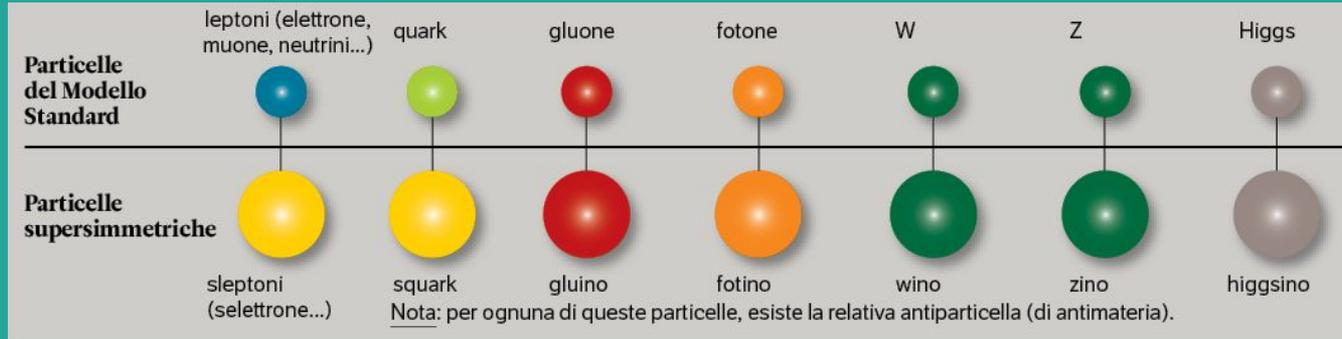
-La barionica è simile all'altra materia, ma non emette radiazione, nel giugno del 2018 sono stati osservati enormi quantità di materia barionica in forma di gas ad alta temperatura, che, formando lunghi filamenti, unisce galassie distanti tra loro milioni di anni luce

-La materia non barionica sarebbe composta da WIMP, particelle diverse da quelle del modello standard. La sua esistenza trova forza nella densità del deuterio, che corrisponde a quella dovuta dalla densità barionica.

Il modello standard non prevede la presenza dei WIMP, ma la **SUPERSIMMETRIA** prevede particelle del genere.

Nella supersimmetria ad ogni fermione corrisponde un bosone e ad ogni bosone corrisponde un fermione di uguale massa.

Il corrispondente di una particella con spin  $s$  avrebbe spin  $s - 1/2$ .



Prevede l'esistenza del **NEUTRALINO**, formato da un fotino, uno zino e due higgsini; interagirebbero pochissimo con la materia, come i neutrini, ma a differenza di questi avrebbero energie comprese tra 100 GeV e 1 TeV, essi sarebbero ottimi candidati a costituire la materia oscura fredda.



Si è cercato i lampi di luce prodotti quando la materia oscura interagisce con gli atomi in un serbatoio di xenon liquido estremamente puro, che interagisce pochissimo con la materia.

# TEORIA DELLE STRINGHE

Secondo la Meccanica Quantistica, ogni particella può essere considerata anche come un'onda, le stringhe appunto sono delle minuscole cordicelle monodimensionali che esistono in uno spazio multidimensionale. Ad ogni possibile modo vibrazionale di questi oggetti, corrispondono altrettante particelle. La modalità di vibrazione determinano massa, carica e spin delle particelle



# TEORIA DELLE STRINGHE BOSONICHE

## CARATTERISTICHE

Quark e neutrini non sarebbero composti dalle stesse particelle nonostante le enormi differenze fra di loro, ma modi molto diversi di vibrare delle stesse stringhe.

I famosi diagrammi di Feynman si trasformano in cilindri deformati che vengono "spazzati" dalle stringhe. Quando due stringhe entrano in collisione, si congiungono e formano una terza stringa.

Porta al decadimento dello spazio-tempo stesso.

Lo spettro di particelle contiene solo bosoni.

# TEORIA DELLE SUPERSTRINGHE

La versione della teoria delle stringhe che include vibrazioni fermioniche.

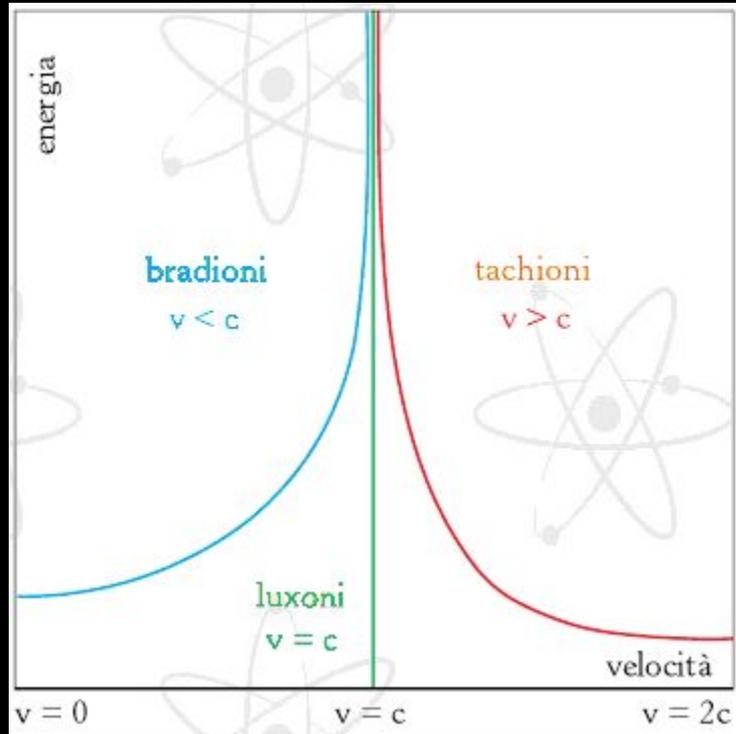
Prevede uno spazio a undici dimensioni e spiega l'esistenza dei gravitoni

## Problema

Sono state elaborate 5 teorie delle superstringhe, queste teorie sembrano prevedere tutto e il contrario di tutto.

Non è possibile una verifica sperimentale, I sostenitori di questa teoria sperano che nuove e più precise misurazioni delle anisotropie della radiazione cosmica di fondo possano darne le prime conferme indirette.

Esso prevede l'esistenza dei tachioni, una delle particelle più famose ma anche più introvabili dell'intera Fisica



Prevede il multiverso.

Formulazione dell'M teoria che unisce le 5 teorie delle superstringhe.

\*\*\*