

Modello Standard ... e oltre

Fisica delle Particelle Elementari (FdP)

Si interessa del comportamento fisico dei costituenti fondamentali del mondo, i.e. di oggetti al contempo molto piccoli e molto veloci



è l'arena naturale per l'esibizione simultanea della Meccanica Quantistica e della Relatività Speciale



piccole dimensioni



alte velocità

Campi Fondamentali

Caratterizzazione delle proprietà di trasformazione delle particelle sotto rotazioni spaziali → Spin

Quantità determinata che rappresenta (in unità di \hbar) il momento angolare intrinseco della particella

(Idea intuitiva di spin: particella ruotante intorno ad un asse → falsa: oggetto puntiforme non può ruotare su stesso)

Campi suddivisi in 2 grandi categorie

Fermioni: spin semintero

Bosoni: spin intero

Campi Fondamentali

Campi sono di 2 tipi

Campi
Materiali

Fermioni a
spin $1/2$

Leptoni

Quarks

Mediatori delle
Interazioni

Bosoni

Campi Materiali

1[^] Famiglia

<u>Campo</u>	<u>q/e</u>	<u>m (GeV)</u>
e	-1	5×10^{-4}
ν_e	0	$< 3 \times 10^{-9}$
u	2/3	3×10^{-3}
d	-1/3	6.8×10^{-3}

2[^] Famiglia

μ	-1	0.106
ν_μ	0	$< 1.9 \times 10^{-4}$
c	2/3	1.2
s	-1/3	0.12

3[^] Famiglia

τ	-1	1.78
ν_τ	0	$< 18.2 \times 10^{-3}$
t	2/3	174.3
b	-1/3	4.3

Campi Materiali

Dove sono il protone, il neutrone, i pioni, ... ??

Esperimenti di diffusione di e^- su p ed n mostrano che queste **non sono particelle elementari**, ma possiedono componenti interni: **quarks** (Gell-Mann, Zweig)

Caratteristiche essenziali dei quarks

- carica elettrica frazionaria
- carica di colore → ciascun **sapore** esiste in 3 versioni: **rosso**, **verde**, **blu** (**antiquarks** portano anticolori)

Campi Materiali

Regole di combinazione dei quarks: solo oggetti bianchi, i.e. {RVB} oppure {colore – anticoloro}, a carica elettrica intera (o nulla)

Esempio : Barioni (e.g. p , n) \rightarrow tripletti di quarks

$$p = \{u, u, d\} \quad n = \{d, d, u\}$$

Mesoni (e.g. π^+ , π^-) \rightarrow coppie quark-antiquark

$$\pi^+ = \{u, \bar{d}\} \quad \pi^- = \{d, \bar{u}\}$$

Natura aborre stati di colore isolati:
mai osservati quarks liberi

Interazioni

- **Gravitazione & E.M.*** : familiari nella vita quotidiana
(causa il raggio d'azione infinito)
- **Debole*** : responsabile della radioattività β
(decadimento del neutrone $n \rightarrow p + e^- + \nu_e$)
- **Forte** : inizialmente ritenuta responsabile del legame nucleare e mediata dal pione. Natura composta di p , n , $\pi \rightarrow$ interpretata come residuo dell'interazione di colore tra quarks mediata da gluoni colorati
(trasportano colore-anticolore \rightarrow 8 combinazioni diverse)

* sono in realtà manifestazioni di una stessa interazione: Elettrodebole (E.W.)

Interazioni

<u>Interazione</u>	<u>Carica</u>	<u>R</u> (cm)	<u>Forza</u>	<u>Azione</u>
Gravitazionale	energia	∞	$\approx 10^{-43}$	Q , L
E. M.	elettrica	∞	$\approx 10^{-2}$	Q , L
Debole	debole	10^{-15}	$\approx 10^{-5}$	Q , L
Forte (Colore)	colore	10^{-13}	1	Q

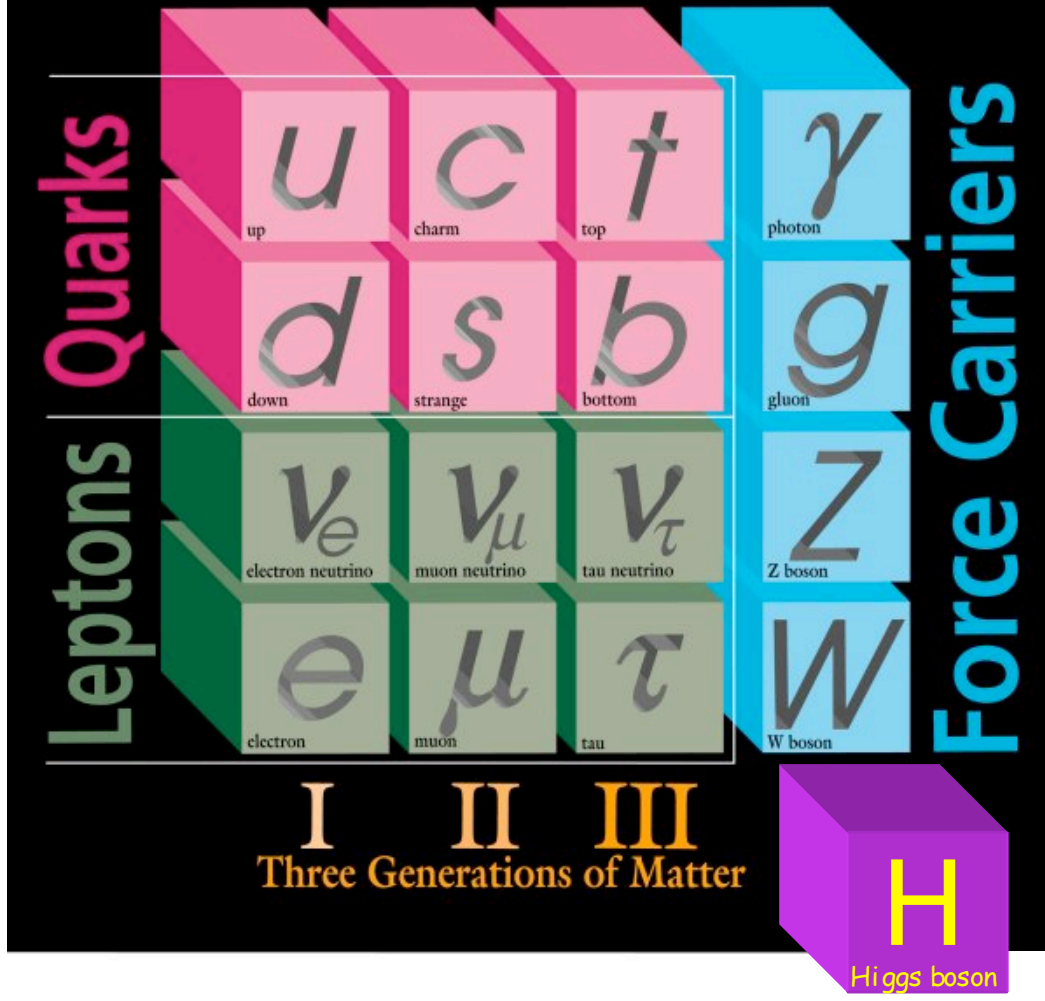
4 interazioni per spiegare tutto l'Universo

Interazioni

<u>Interazione</u>	<u>Mediatore</u>	<u>Spin</u>	<u>m (GeV)</u>
Gravitazionale	Gravitone (G)	2	0
Elettromagnetica	Fotone (γ)	1	0
Debole	3 Bosoni (W^\pm, Z^0)	1	80.4, 91.2
Forte (Colore)	8 Gluoni (g_i)	1	0

Gravity
?

The Standard Model



?

Questioni Aperte



Interazioni

? 4 invece di 1

? così diverse

- ✓ agiscono su classi diverse di particelle:
quella di **colore** solo sui **quarks**
- ✓ intensità completamente differenti
- ✓ **mediate** da campi con proprietà diverse

? Gravità così debole

(a bassa energia) tra 2 **e⁻**:

$$\frac{F_{\text{Newton}}}{F_{\text{Coulomb}}} \approx 10^{-40}$$

Questioni Aperte

➤ ? 3 Famiglie

? masse così diverse

$$m_t \approx 10^8 m_e$$
$$m_\nu \approx 10^{-9} m_e$$



Qual'è la vera origine della massa ?

➤ ? Quarks & Leptoni → G.U.Theory

Predizione scioccante: decadimento del protone
→ il destino ultimo dell'Universo non prevede la materia

Questioni Aperte

➤ ? Bosoni & Fermioni → Nuova simmetria

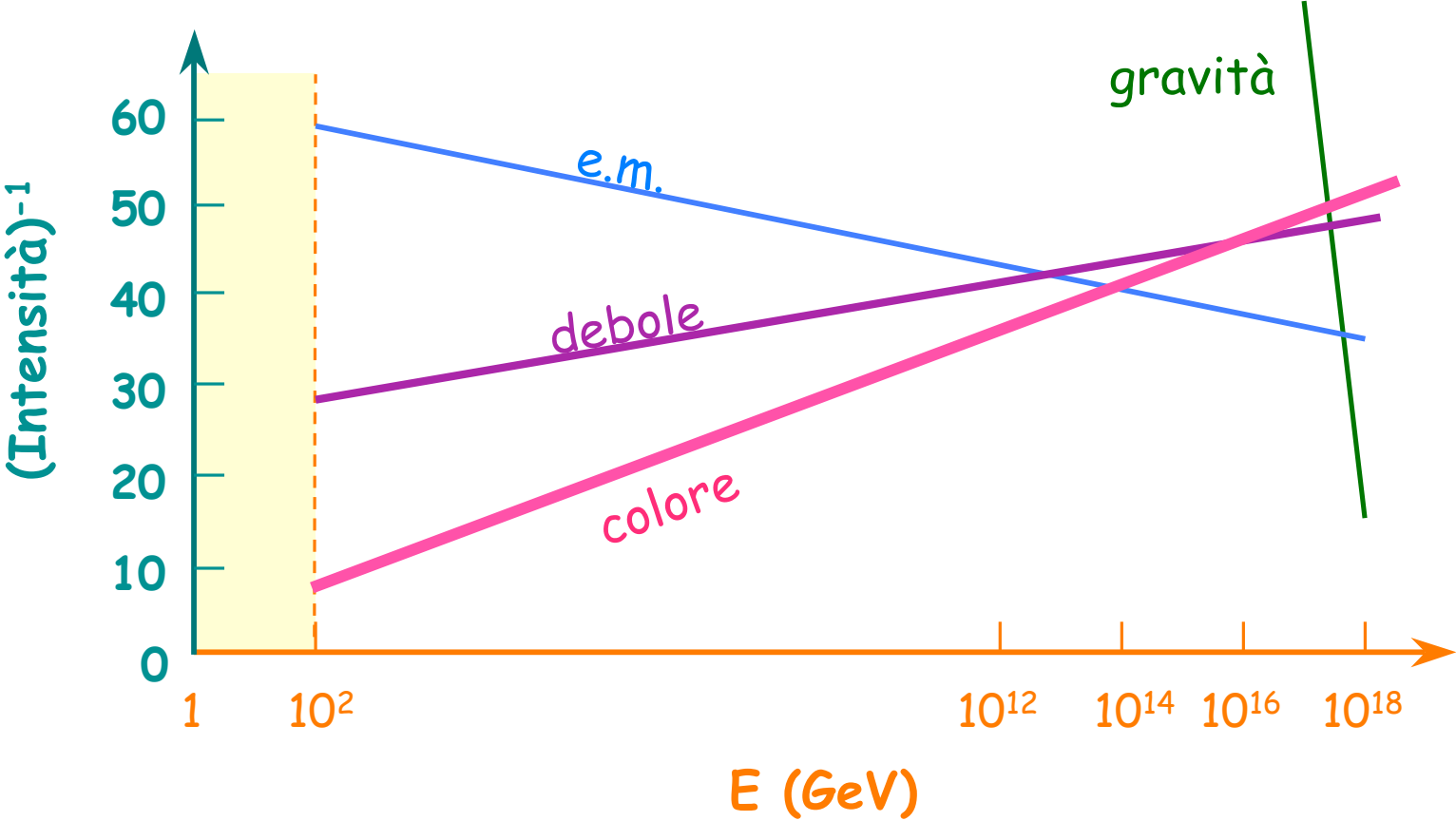
Supersimmetria

correla bosoni & fermioni → per ogni
bosone (fermione) esiste partner
supersimmetrico fermionico (bosonico)

esistenza di nuova forma di materia: particelle
supersimmetriche → soluzione problema della
materia oscura ?? (solo 4.5 % della materia dell'universo
è in forma di particelle ordinarie)

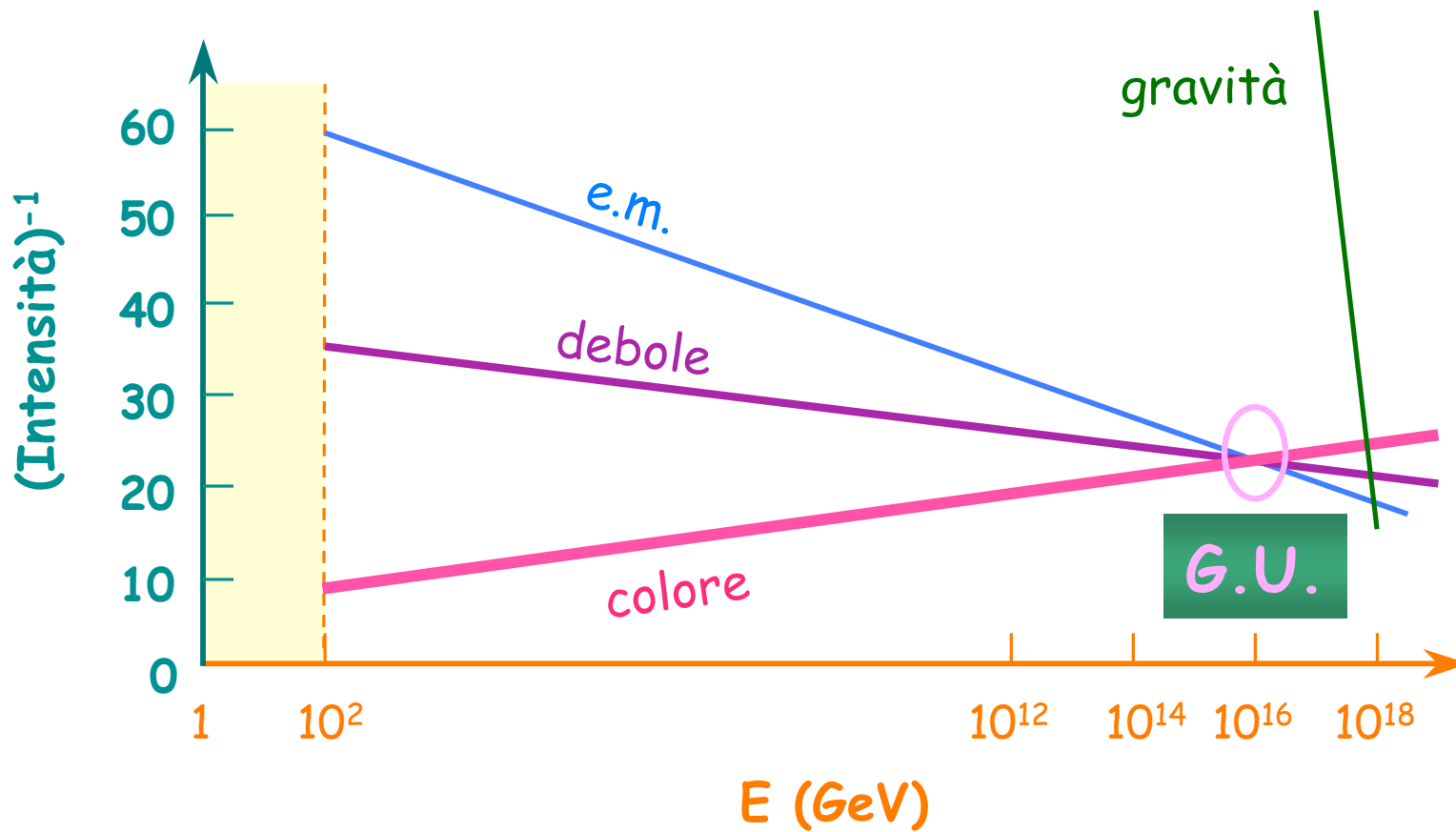
Questioni Aperte

Modello Standard



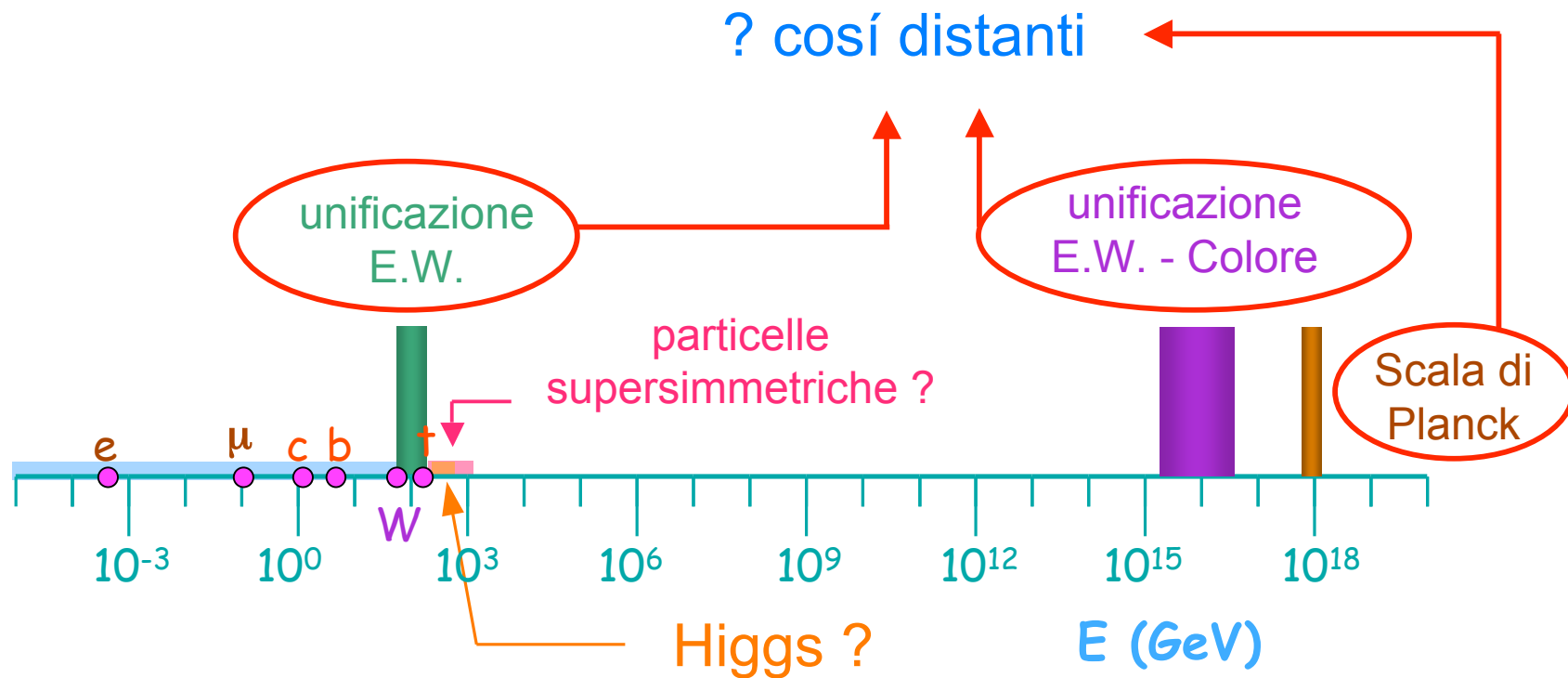
Questioni Aperte

Modello Standard + Supersimmetria



Questioni Aperte

➤ Problema gerarchico



Questioni Aperte

- ? Gravità incompatibile con M.Q.

ha a che fare con la “debolezza” della gravità ?

- ? Spaziotempo ha 3 + 1 dimensioni

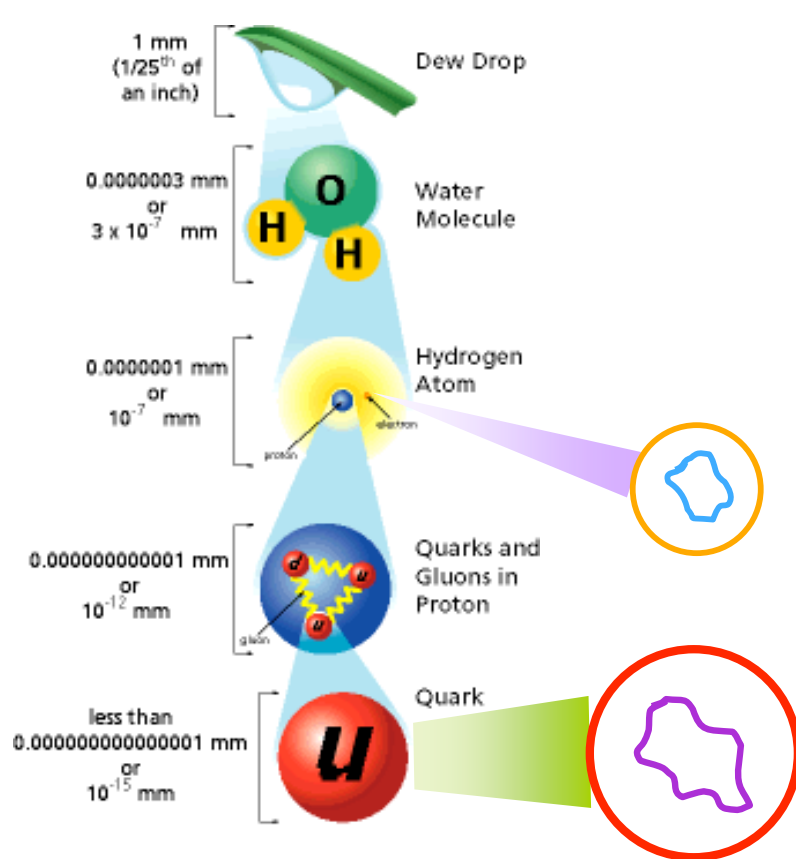
aggiunta di dimensioni spaziali extra attraverso cui si propaga solo la gravità, mentre le altre interazioni agiscono solo nello spaziotempo ordinario → soluzione problema gerarchico



modifica della legge di Newton a piccole distanze

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

Questioni Aperte

Conseguenze della Teoria delle Stringhe:

❖ spaziotempo di dimensione $10 + 1$

le altre 7 dimensioni spaziali sono “arrotolate” su
distanze $\approx 10^{-33}$ cm \rightarrow inosservabili alle energie a noi
accessibili

❖ risoluzione conflitto M.Q. – Gravitazione

Problema: manca la matematica !!

? Stringhe \rightarrow membrane p-dimensionali ?

teoria M

Astroparticle Physics

Leggi d'interazione universali (indipendenza da **luogo** e **tempo**) → estrapolazione nel **passato** (e nel futuro)

