

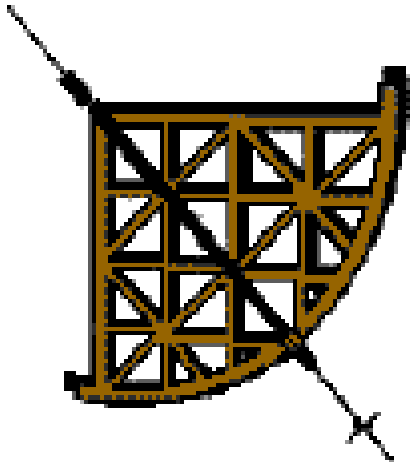
Introduzione alla Cosmologia Fisica Lezione 3

Il problema della Gravita', applicazioni ai corpi celesti; il problema dell'unificazione delle 4 forze fondamentali.

Giorgio G.C. Palumbo

Università degli Studi di Bologna

Dipartimento di Astronomia



Le 3 leggi di Newton

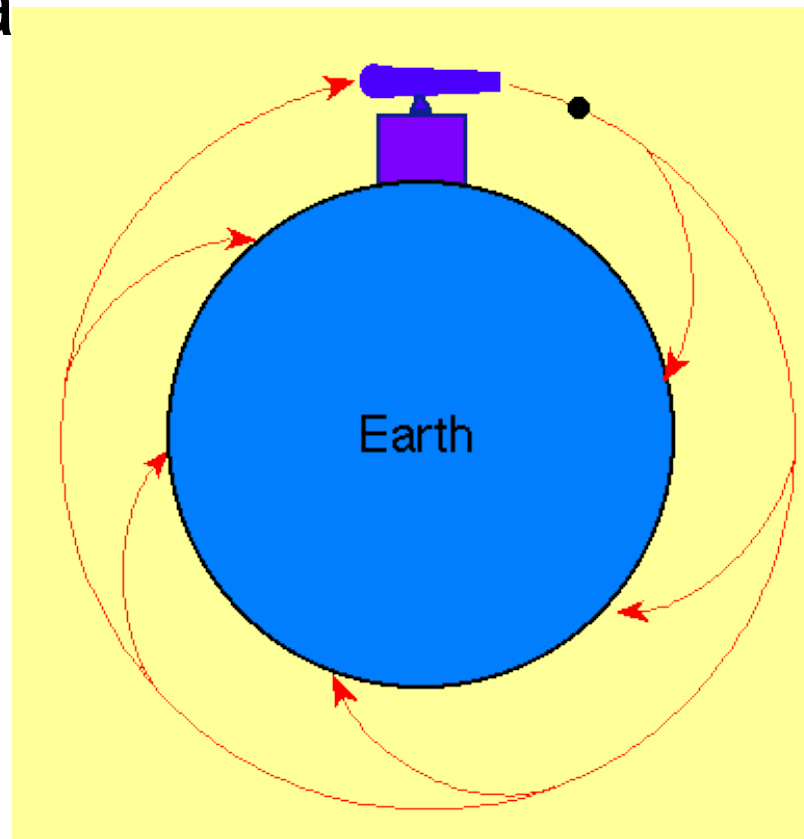
Prima legge di Newton: Un corpo in quiete o in moto uniforme rimarrà fermo o in moto uniforme, a meno che una forza agisca su di esso.

Seconda legge di Newton: L'accelerazione di un oggetto è uguale alla forza applicata, diviso per la sua massa.

Terza legge di Newton: Per ogni azione, c'è una reaction uguale ed opposta.

Storia di una mela

- Osservazione 1: La Luna orbita la Terra su un'orbita quasi circolare. \Rightarrow La Luna è costantemente accelerata
- Cade continuamente verso la Terra.



- Osservazione 2: Una mela cade da un albero.
- Newton: La stessa forza [gravità] che fa cadere una mela dall'albero mantiene la Luna in orbita intorno alla Terra.

La legge di gravità di Newton

$$F = G \frac{Mm}{r^2}$$

- M: massa di un oggetto [e.g. Terra]
- m: massa di un altro oggetto [e.g. mela, Luna]
- r: distanza tra i due oggetti
- F: Forza con la quale gli oggetti si attraggono tra loro.
- G: costante gravitazionale [6.67×10^{-11} N m²/kg²]

Vedi Filmato

Dalla gravità di Newton ⇒ il principio di equivalenza

$$F = m \times a = \frac{GmM}{r^2}$$

$$\Rightarrow a = \frac{GM}{r^2}$$

- L'accelerazione non dipende da m . Tutti gli oggetti cadono allo stesso modo.
 - Alla sinistra: “ m ” inerzia dell' oggetto
 - Alla destra: “ m ” attrazione gravitazionale dell'oggetto
- ⇒ **equivalenza tra massa inerziale e gravitazionale**

Da Newton a Kepler

- Kepler:

$$\frac{R^3}{P^2} = C$$

- Qual'è l'origine della relazione tra la legge di Kepler e la legge di Newton ?
- Cosa determina la costante C ?

- Newton: combinando gli assiomi del moto con la legge dell'inverso del quadrato per la gravità, si ottiene [dopo alcune pagine di conti]:

$$\frac{R^3}{P^2} = \frac{G(M + m)}{4\pi^2}$$

- Per molti sistemi astronomici: $M \gg m$
 $\Rightarrow M + m \approx M$

$$\frac{R^3}{P^2} = \frac{G(M + m)}{4\pi^2} \approx \frac{GM}{4\pi^2}$$

- La costante nella terza legge di Kepler è determinata dalla massa dell'oggetto centrale.
- L'importanza di questa formula in astronomia non può essere sovrastimata, misura la massa dei sistemi astronomici.

Esempio 1: La massa del Sole

- Periodo orbitale della Terra intorno al Sole: $1 \text{ yr} = 3.15 \times 10^7 \text{ sec}$
- Distanza Terra - Sole:
 $1 \text{ AU} = 1.50 \times 10^{11} \text{ m} \Rightarrow$ massa del Sole:
 $M = 2 \times 10^{30} \text{ kg}$

Esempio 2: La massa della Luna

- periodo orbitale della Luna intorno alla Terra: 1 mese = 2.4×10^6 sec
- Distanza Luna - Terra:
 $R = 3.84 \times 10^8$ m \Rightarrow massa della Terra:
 $M = 6 \times 10^{24}$ kg

Esempio 3: misurare la massa dei Pianeti

- e.g. Giove: misurare la distanza fra Giove e una delle sue lune, misurare il periodo orbitale della luna, calcolare la massa di Giove.
- e.g. Venere: peccato!, Venere non ha lune!. Possibile soluzione: satellite in orbita intorno a Venere.
- Altre applicazioni: determinazione della massa delle stelle, ammassi stellari, galassie, ammassi di galassie ...

Forza elettromagnetica

Regola gli atomi

Sempre 2 poli +/-

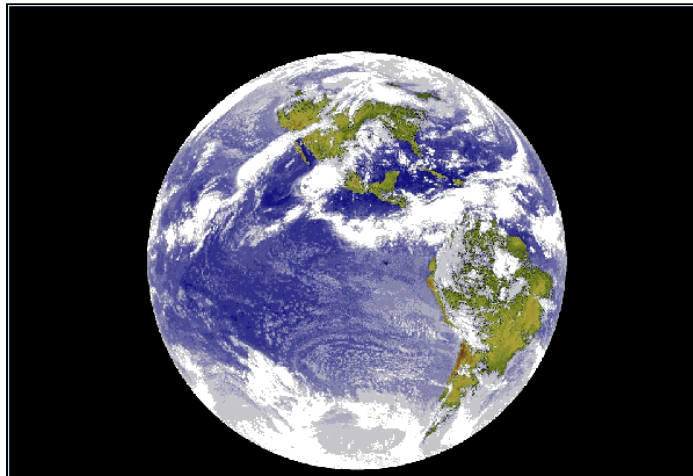
Atomo è neutro

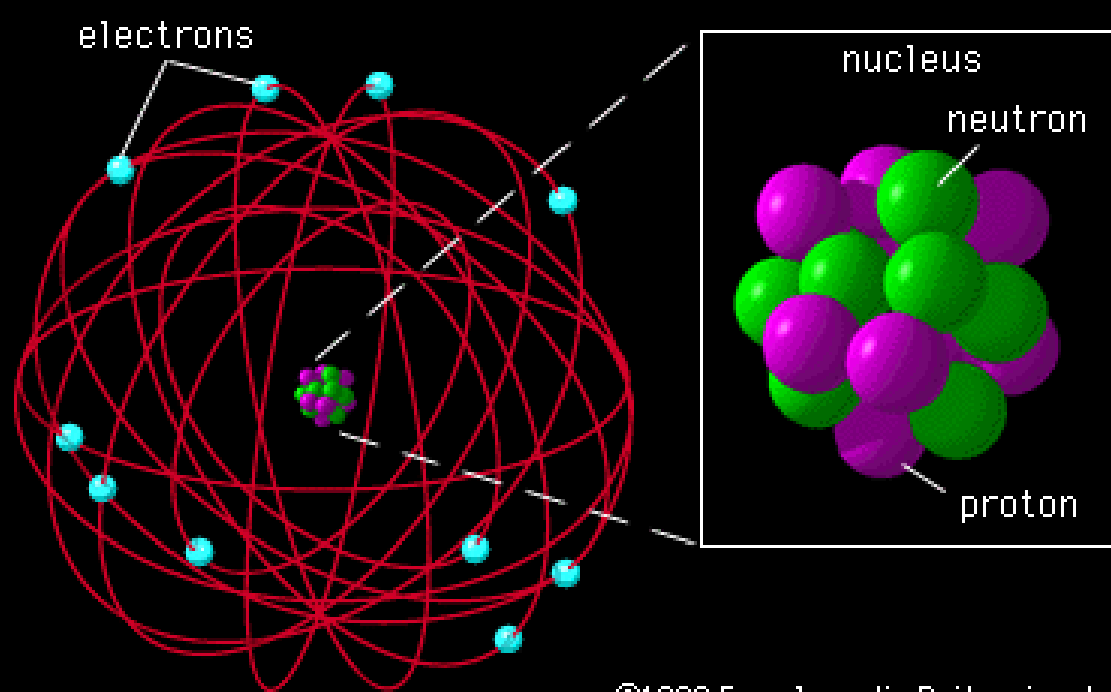


Gravità

Regola il moto dei pianeti

Solo attrattiva





©1998 Encyclopaedia Britannica, Inc.

Nel Nucleo Protoni e Neutroni, lo si studia bombardandolo con particelle “naturali” (radioattività) prima, con particelle generate da acceleratori (CERN) poi

I nuclei sono compatti grazie alla Forza Nucleare Forte di corto raggio.

$$\mathbf{r}_{\text{nucleo di U (240)}} = \mathbf{r}_{\text{forza nucleare}}$$

motivo per cui non si possono fare atomi più pesanti dell'Uranio (92 p e 146 n), il nucleo non sta più insieme.

Protoni e Neutroni sono formati da 3 quark

Quark: di due tipi up \uparrow e down \downarrow

$$q \uparrow = \frac{2}{3}e \quad q \downarrow = \frac{1}{3}e$$

$$p = 2 q \uparrow + 1 q \downarrow$$

$$n = 1 q \uparrow + 2 q \downarrow$$

$$2 \times \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = \frac{3}{3} = 1$$

$$\frac{2}{3} - \frac{2}{3} = 0$$

Questo spiega perché i protoni sono carichi e i neutroni sono neutri

Principio di indeterminazione (Heisenberg)

$\Delta x \Delta p = h/2\pi$ origina da dualità particella-onda

(la cui posizione non è localizzabile)

Precisione tra modello e misure

**$1/10^9 = 0.00000001$ accordo più preciso nella
Fisica**

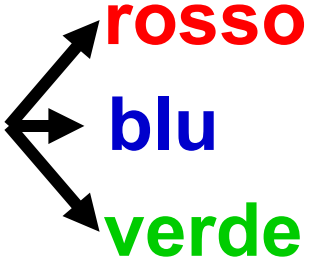
Indeterminazione implica particelle “virtuali”

Derivanti da “fluttuazioni del vuoto”

Elettrodinamica quantistica.

**Ogni particella carica “nuota” in un mare di
particelle virtuali.**

**Interazione tra quark → elettrodinamica
quantistica QED**

Glioni legano i quark → 3 colori 
rosso
blu
verde

Serve la cromodinamica quantistica QCD

Fotoni + Glioni = Bosoni (fotoni e gluoni)

Elettroni + Quark = Fermioni (elettroni e quark)

Fotoni: generati da pura energia

Quando si accende la luce → miliardi di fotoni

**Numero totale dei Fermioni è costante
nell'Universo dal Big Bang a oggi**

Per fare un e^- si deve fare un e^+

**Oltre a forze e.m. forti e gravità esiste il
decadimento β (elettroni emessi da nuclei)**

**$n = e^- + p^+$ la carica è conservata il momento no
occorre una nuova particella il ν (neutrino)**

Decadimento e fusione nucleare

Per spiegare le interazioni deboli sono necessari 3 tipi di bosoni: W^+ , W^- massivi e Z neutro

La teoria è più difficile di QED ma più facile di QCD

4 particelle (e , ν) [leptoni], q_u , q_d \longrightarrow 4 interazioni (gr, e.m., int.forte, int.debole)

Ciò che risulta è il **Modello Standard** che spiega qualsiasi fenomeno naturale compresa la fusione nelle stelle ma non nei processi ad alta energia che avvengono negli acceleratori di particelle

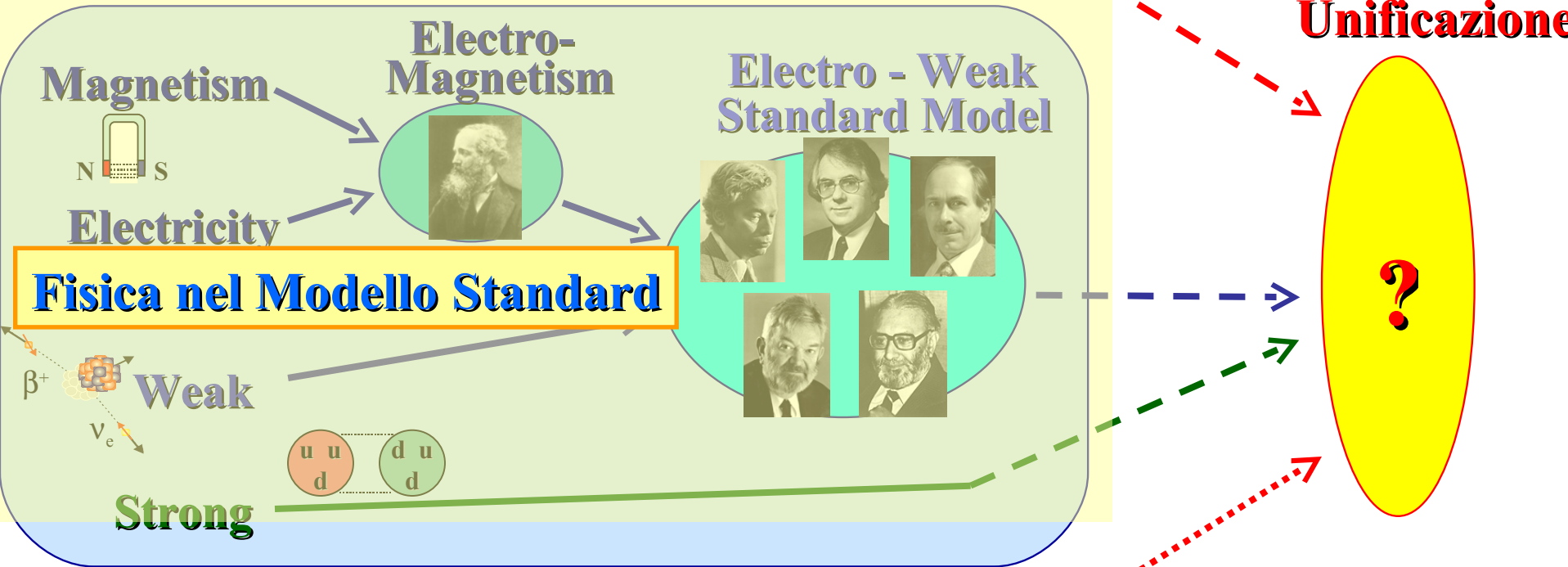
La sequenza è: Energia \longrightarrow μ (e^- pesante), ν_μ ,
 q_{charm} , q_{strange} ; +En \rightarrow (e^+ pesante) tau, ν_t , q_{top} ,
 q_{bottom}

IL MODELLO STANDARD

Gravitazione



Grande
Unificazione



Modelli Speculativi:

Supersymmetry, Cold dark matter, Tachyons, Radiative muon generation, Technicolor, Leptoquarks, Extra gauge bosons, Extra dimensions, Left Right Symmetry, Compositeness, Lepton flavour violation,

⇒ **No Status nella Fisica: “Neppure sbagliato”**

Il mondo nello stile di Escher

P

C

T

inizio

materia

anti-materia

identico
all'inizio



immagine
speculare

tempo →

← tempo



La violazione della reversibilità
del tempo misurata a basse energie

anti-particelle

particelle

e^+

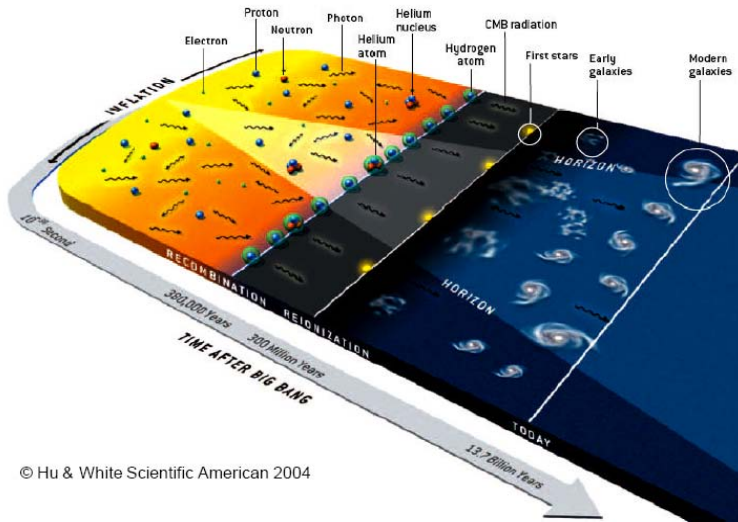
e^-

Proprietà delle forze note

Elementary Particles

Quarks	u up	c charm	t top	Force Carriers
	d down	s strange	b bottom	
	γ photon	g gluon	Z Z boson	
Leptons	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Force Carriers
	e electron	μ muon	τ tau	
	W W boson			

I II III
Three Families of Matter



Modello Standard

nella Fisica delle Particelle

- **3 Forze Fondamentali**
 - Electromagnetica Debole Forte
 - $U(3)_c \times SU(2)_L \times U(1)_Y$ simmetria

- **12 Fermioni Fondamentali**
 - Quarks, Leptoni

- **13 (Gauge) Bosoni**
 - $\gamma, W^+, W^-, Z^0, H, 8$ Gluons

nella Cosmologia

- **Big Bang**

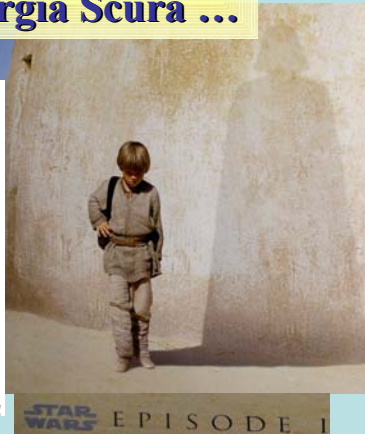
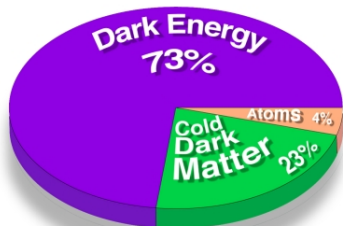
Il Modello Standard

Elementary Particles

Quarks	u up	c charm	t top	Force Carriers
	d down	s strange	b bottom	
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	
Leptons	e electron	μ muon	τ tau	γ photon
				g gluon
				Z Z boson
				W W boson
	I	II	III	
Three Families of Matter				

- **Molte domande: perchè**
 - 3 generazioni ?
 - 30 parametri?
 - una carica elettrica ?
 - violazione di CP ?
 - asimmetria materia-antimateria ?
 - c'erano altre simmetrie importanti nell'Universo primordiale?
 -
- **Gravità esclusa dal SM**
- **Nessuna Teoria unitaria per Gravità e Meccanica Quantistica**
- **Neutrino Puzzles**
 - Quali sono le masse ?
 - Quali sono i mixing angles ?
 - C'è CP violation ?
- **Contenuto del Cosmo**
cos'è il 96% che non è materia ?

Materia Scura – Energia Scura ...



Idea di Higgs (Peter Higgs):

Nessuna particella ha massa, l'acquistano dal "campo"
e.g. moto nel gas, richiede più E_n che nel vuoto, **come se pesasse di più**

Modello spiega le masse di W e Z e **Predice il Bosone di Higgs** la cui massa è maggiore di quelle finora ottenibili negli acceleratori ma

LHC En fino a 14 TeV ($1 \text{ TeV} = 10^{12} \text{ eV}$) E_k della massa di una zanzara = 1000 protoni

Questo, ed altro, dovremo sperimentare per **sapere** come è avvenuta l'origine dell'Universo