

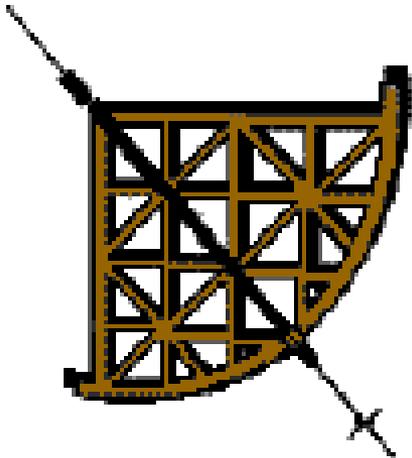
# Introduzione alla Cosmologia Fisica Lezione 3

**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

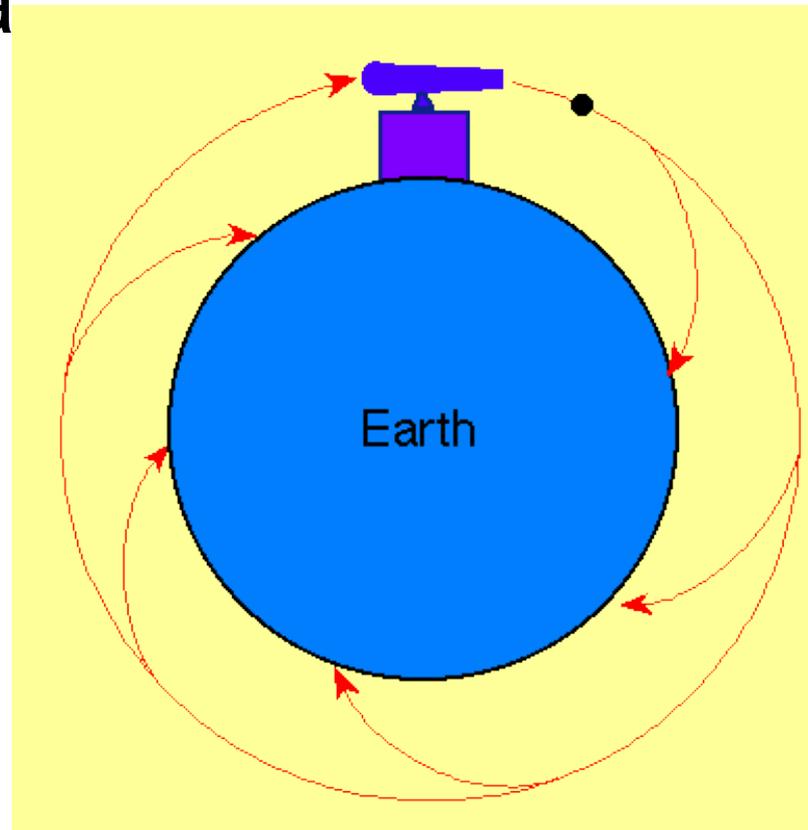
**Prima legge di Newton:** Un corpo in quiete o in moto uniforme rimarrà fermo o in moto uniforme, a meno che una forza agisca su di esso.

**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 [ $6.67 \times 10^{-11}$  N m<sup>2</sup>/kg<sup>2</sup>]

# 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 =  $2.4 \times 10^6$  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

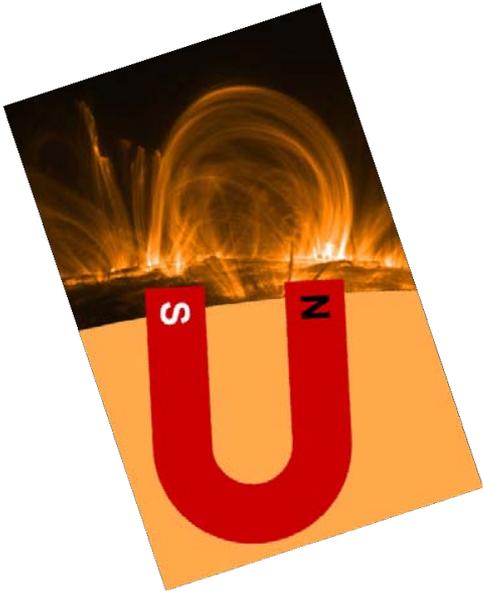
- e.g. Giove: misurare la distanza fra Giove e una delle sue lune, misurare il periodo orbitale della luna, calcolare la massa di Giove.
- e.g. Venere: peccato!, Venere non ha lune!. Possibile soluzione: satellite in orbita intorno a Venere.
- Altre applicazioni: determinazione della massa delle stelle,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

## Forza elettromagnetica

Regola gli atomi

Sempre 2 poli +/-

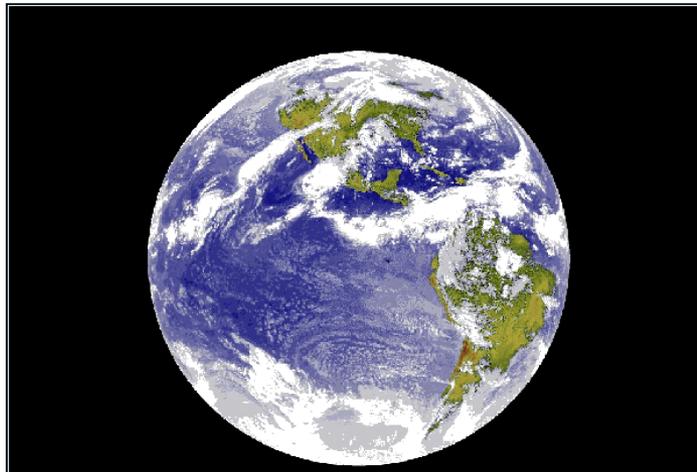
Atomo è neutro

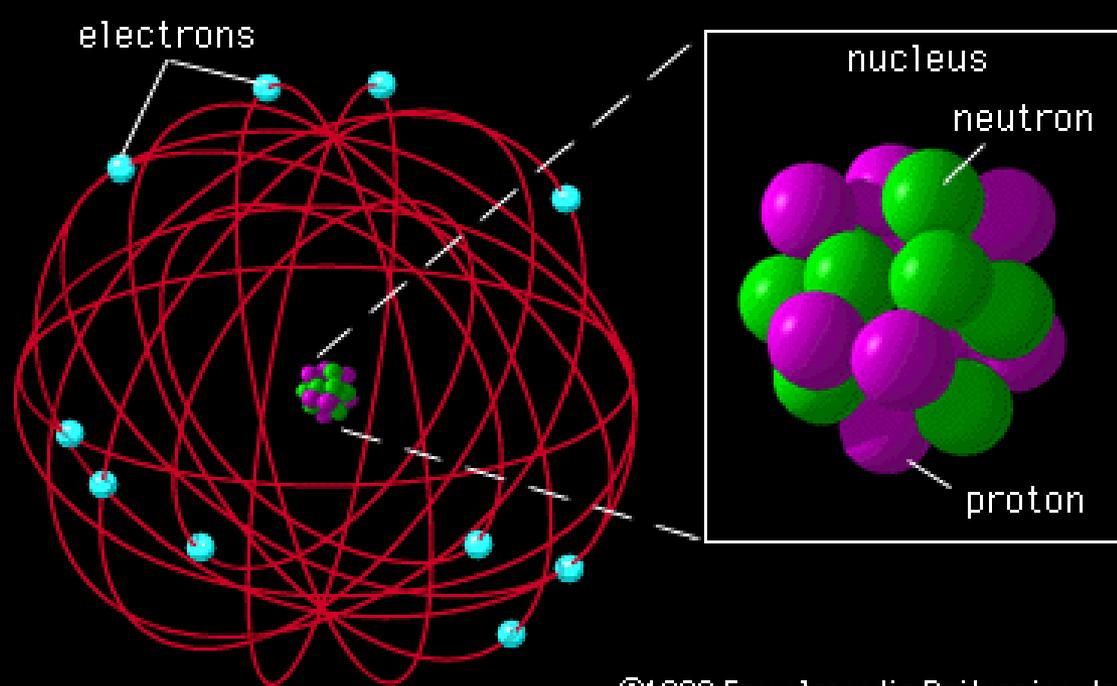


## Gravità

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  $\downarrow$**

$$q \uparrow = 2/3 e \quad q \downarrow = 1/3 e$$

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

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

$$2 \times 2/3 - 1/3 = 3/3 = 1$$

$$2/3 - 2/3 = 0$$

**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**

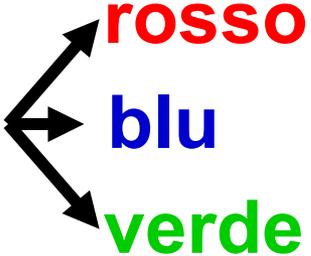
**Indeterminazione implica particelle “virtuali”**

**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  $\beta$  (elettroni emessi da nuclei)**

**$n = e^- + p^+$  la carica è conservata il momento no  
occorre una nuova particella il  $\nu$  (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 ( $e$ ,  $\nu$ ) [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

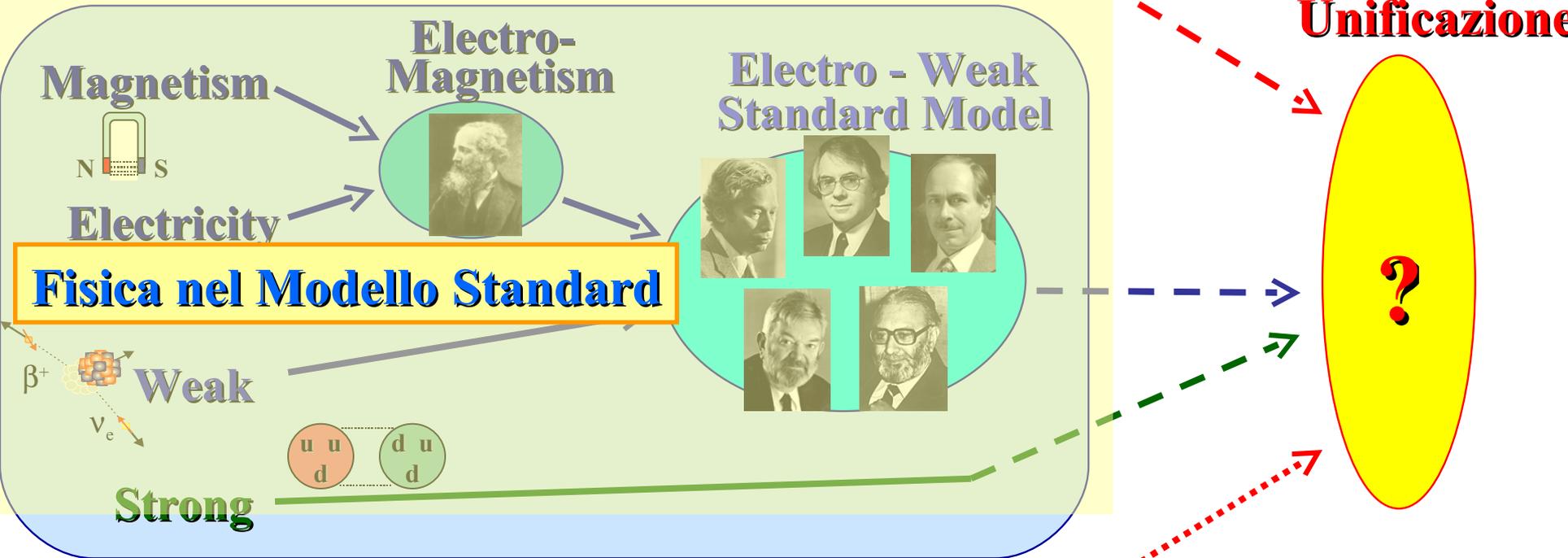
La sequenza è: Energia  $\longrightarrow$   $\mu$  ( $e^-$  pesante),  $\nu_\mu$ ,  
 $q_{\text{charm}}$ ,  $q_{\text{strange}}$ ; +En  $\rightarrow$  ( $e^+$  pesante) tau,  $\nu_t$ ,  $q_{\text{top}}$ ,  
 $q_{\text{bottom}}$

# 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

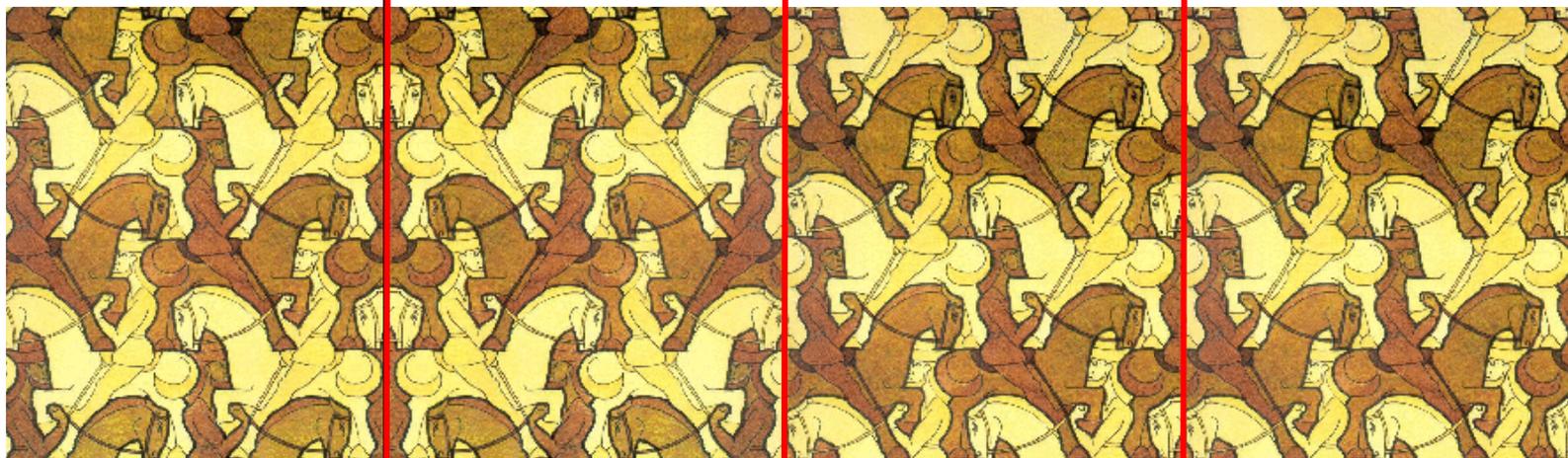


immagine  
speculare

tempo →

← tempo

La violazione della reversibilità  
del tempo misurata a basse energie



anti-particelle

particelle

$e^+$

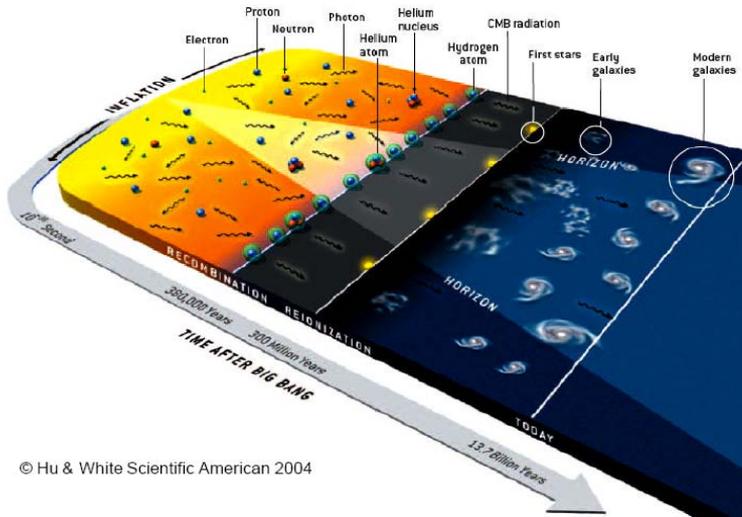
$e^-$

# Proprietà delle forze note

## Elementary Particles

Quarks	$u$ up	$c$ charm	$t$ top	Force Carriers
	$d$ down	$s$ strange	$b$ bottom	
	$\gamma$ photon	$g$ gluon	$Z$ Z boson	
Leptons	$\nu_e$ electron neutrino	$\nu_\mu$ muon neutrino	$\nu_\tau$ tau neutrino	Force Carriers
	$e$ electron	$\mu$ muon	$\tau$ 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

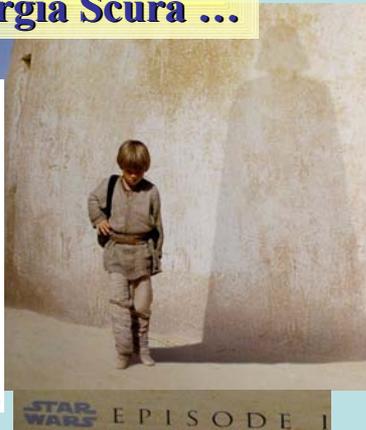
## Elementary Particles

Quarks	$u$ up	$c$ charm	$t$ top	Force Carriers
	$d$ down	$s$ strange	$b$ bottom	
	$\nu_e$ electron neutrino	$\nu_\mu$ muon neutrino	$\nu_\tau$ tau neutrino	
Leptons	$e$ electron	$\mu$ muon	$\tau$ tau	$\gamma$ 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 ...

Galaxy NGC 7743



## 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