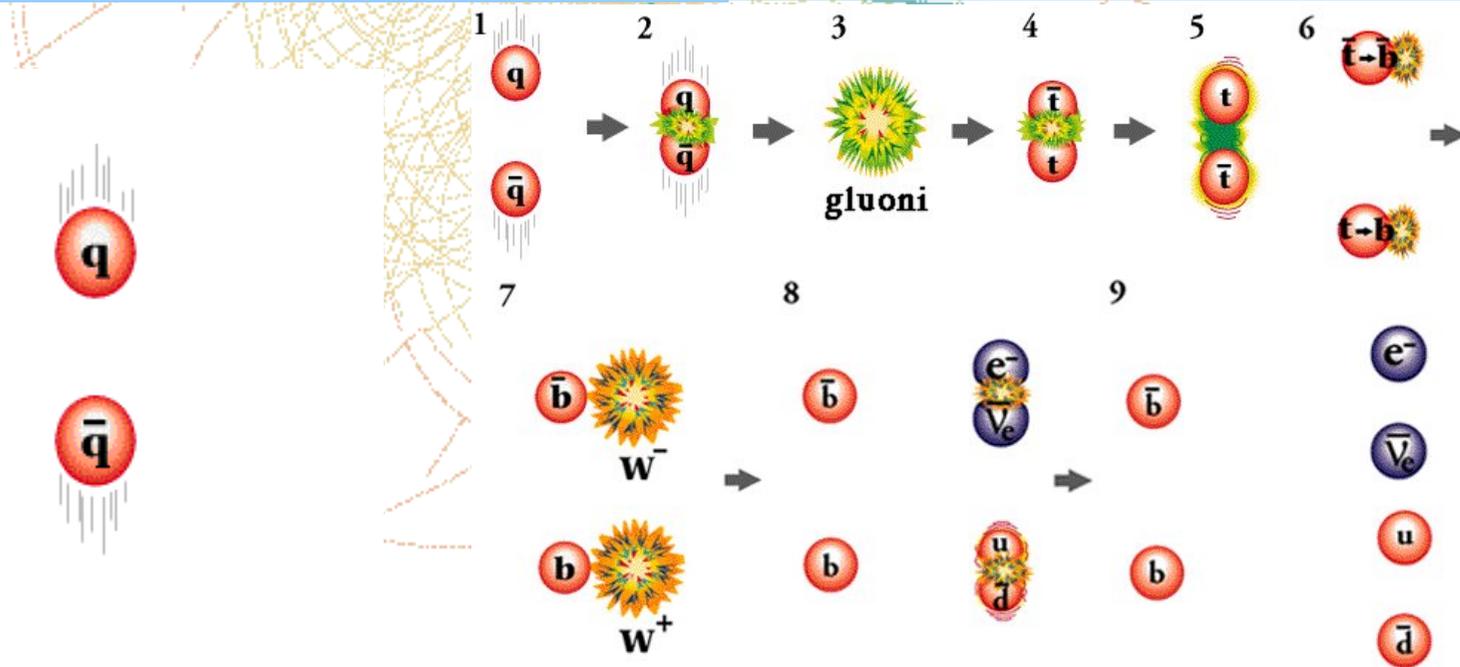
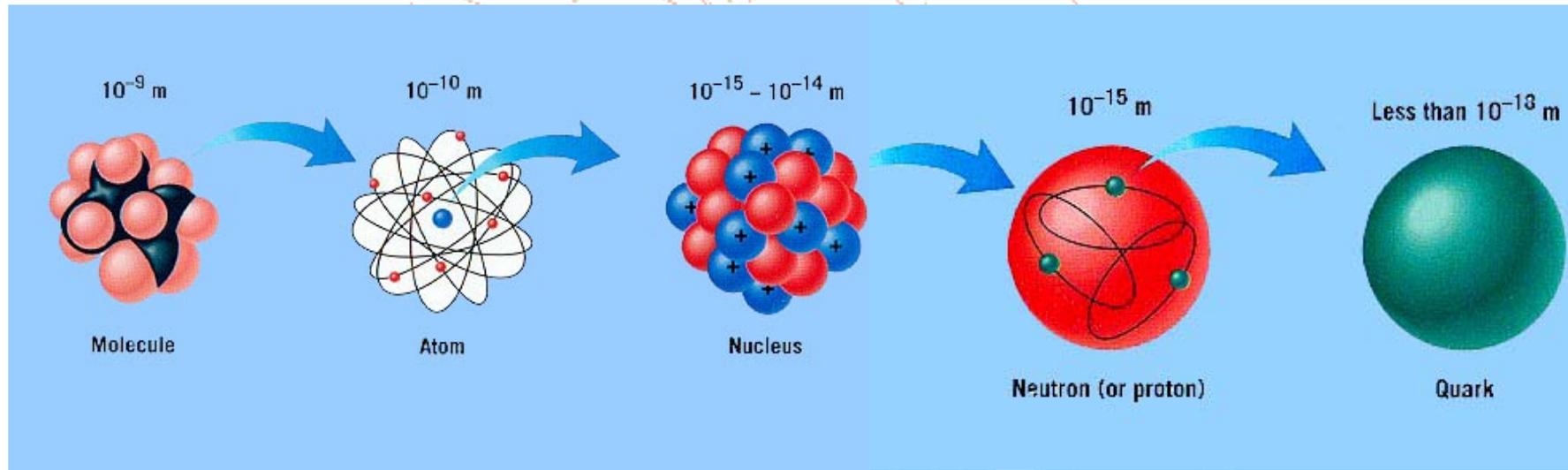


# Il modello standard delle particelle



# Il modello standard delle particelle

## Standard Model of FUNDAMENTAL PARTICLES AND INTERACTIONS

The "Standard Model" is a term used to describe the quantum theory that includes the theory of strong interactions (quantum chromodynamics or QCD) and the unified theory of weak and electromagnetic interactions (electroweak). Gravity is included on this chart because it is one of the fundamental interactions even though not part of the "Standard Model."

### FERMIONS

matter constituents  
spin = 1/2, 3/2, 5/2,...

Leptons spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge
$\nu_e$ electron neutrino	$< 7 \times 10^{-9}$	0
e electron	0.000511	-1
$\nu_\mu$ muon neutrino	$< 0.0003$	0
$\mu$ muon	0.106	-1
$\nu_\tau$ tau neutrino	$< 0.03$	0
$\tau$ tau	1.7771	-1

Quarks spin = 1/2		
Flavor	Approx. Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge
u up	0.005	2/3
d down	0.01	-1/3
c charm	1.5	2/3
s strange	0.2	-1/3
t top (initial evidence)	170	2/3
b bottom	4.7	-1/3

### BOSONS

force carriers  
spin = 0, 1, 2,...

Unified Electroweak spin = 1	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge
$\gamma$ photon	0	0
W <sup>-</sup>	80.22	-1
W <sup>+</sup>	80.22	+1
Z <sup>0</sup>	91.187	0

Strong or color spin = 1	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge
g gluon	0	0

#### Color Charge

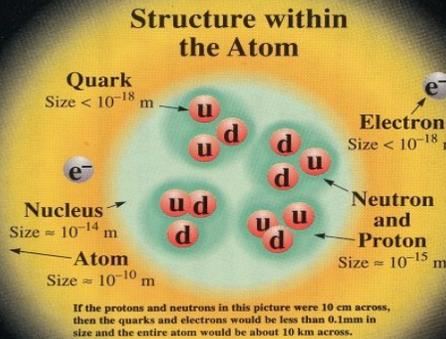
Each quark carries one of three types of "strong charge," also called "color charge." These charges have nothing to do with the colors of visible light. There are eight possible types of color charge for gluons. Just as electrically charged particles interact by exchanging photons, in strong interactions color-charged particles exchange gluons. Leptons, photons, and W and Z bosons have no color charge and hence no strong interactions. One cannot isolate quarks and gluons; they are *confined* into color-neutral hadrons. This confinement (binding) results from multiple exchanges of gluons among the color-charged objects.

#### Confinement

As color-charged particles (quarks and gluons) are separated, the color force between them approaches a constant value and the energy in the color-force field increases. This energy eventually is converted into additional quark-antiquark pairs (see the figures below). The objects that finally emerge are color-neutral combinations called hadrons (mesons and baryons).

#### Residual Strong Interactions

The strong binding of the color-neutral protons and neutrons to form nuclei is due to residual strong interactions between their color-charged constituents. It is similar to the residual electrical interaction which binds electrically neutral atoms to form molecules. It can be viewed as the exchange of mesons between the hadrons.



If the protons and neutrons in this picture were 10 cm across, then the quarks and electrons would be less than 0.1mm in size and the entire atom would be about 10 km across.

Spin is the *intrinsic* angular momentum of particles. Spin is given in units of  $\hbar$ , which is the quantum unit of angular momentum, where  $\hbar = h/2\pi = 6.58 \times 10^{-22}$  GeV s =  $1.05 \times 10^{-34}$  J s.

Electric charges are given in units of the proton's charge. In SI units the electric charge of the proton is  $1.60 \times 10^{-19}$  coulombs.

The energy unit of particle physics is the electron volt (eV), the energy gained by one electron in crossing a potential difference of one volt. Masses are given in GeV/c<sup>2</sup> (remember  $E = mc^2$ ), where 1 GeV =  $10^9$  eV =  $1.60 \times 10^{-10}$  joule. The mass of the proton is 0.938 GeV/c<sup>2</sup> =  $1.67 \times 10^{-27}$  kg.

## PROPERTIES OF THE INTERACTIONS

Sample Fermionic Hadrons					
Baryons qqq and Antibaryons $\bar{q}\bar{q}\bar{q}$					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass, GeV/c <sup>2</sup>	Spin
p	proton	uud	1	0.938	1/2
$\bar{p}$	anti-proton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	-1	0.938	1/2
n	neutron	udd	0	0.940	1/2
$\Lambda$	lambda	uds	0	1.116	1/2
$\Omega^-$	omega	sss	-1	1.672	3/2

Property	Interaction	Gravitational	Electromagnetic (Electroweak)		Strong	
			Flavor	Electric Charge	Fundamental	Residual
Acts on:		Mass - Energy	Quarks, Leptons	Electrically charged	Color charge	See Residual Strong Interaction Note
Particles experiencing:		All	Quarks, Leptons	Electrically charged	Quarks, Gluons	Hadrons
Particles mediating:		Graviton (not yet observed)	W <sup>+</sup> W <sup>-</sup> Z <sup>0</sup>	$\gamma$	Gluons	Mesons
Strength (relative to electromagnetic):		$10^{-41}$	0.8	1	25	Not applicable to quarks
for two u quarks at:		$10^{-41}$	$10^{-4}$	1	60	
for two protons in nucleus		$10^{-36}$	$10^{-7}$	1	Not applicable to hadrons	20

Sample Bosonic Hadrons					
Mesons q $\bar{q}$					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass, GeV/c <sup>2</sup>	Spin
$\pi^+$	pion	u $\bar{d}$	+1	0.140	0
$K^-$	kaon	s $\bar{u}$	-1	0.494	0
$\rho^+$	rho	u $\bar{d}$	+1	0.770	1
$D^+$	D <sup>+</sup>	c $\bar{d}$	+1	1.869	0
$\eta_c$	eta-c	c $\bar{c}$	0	2.979	0

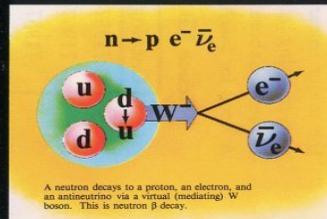
#### Matter and Antimatter

For every particle type there is a corresponding antiparticle type, denoted by a bar over the particle symbol. Particle and antiparticle have identical mass and spin but opposite charges. Some electrically neutral bosons (e.g., Z<sup>0</sup>,  $\gamma$ , and  $\eta_c = c\bar{c}$ , but not  $K^0 = d\bar{s}$ ) are their own antiparticles.

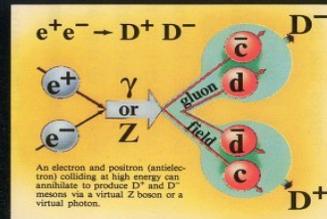
#### Figures

These diagrams are an artist's conception of physical processes. They are not exact and have no meaningful scale. Green shaded areas represent the cloud of gluons or the gluon field, red lines the quark paths, and black lines the paths of leptons.

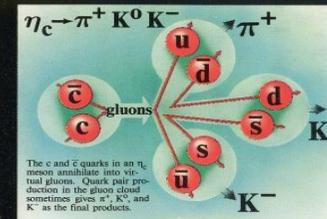
Copyright © 1995 CPEP



A neutron decays to a proton, an electron, and an antineutrino via a virtual (mediating) W<sup>-</sup> boson. This is neutron  $\beta$  decay.



An electron and positron (antilepton) colliding at high energy can annihilate to produce D<sup>+</sup> and D<sup>-</sup> mesons via a virtual Z boson or a virtual photon.



The c and  $\bar{c}$  quarks in an  $\eta_c$  meson annihilate into virtual gluons. Quark pair production in the gluon cloud sometimes gives  $\pi^+$ ,  $K^0$ , and  $K^-$  as the final products.

#### Contemporary Physics Education Project (CPEP)

CPEP is a non-profit organization of teachers, physicists, and educators. For information on the chart, software, book, packet of handouts, classroom activities, and workshops, look on WWW at <http://pdg.lbl.gov/cpep.html>, send e-mail to [pdg@LBL.gov](mailto:pdg@LBL.gov), or write: CPEP, MS 50-308, Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, CA 94720. Corporate and private donations as well as national laboratory funding have been and remain crucial to the success of this project.

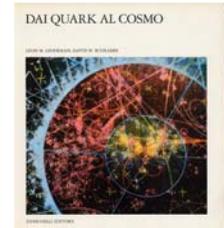
U.S. Department of Energy  
Lawrence Berkeley Laboratory  
Stanford Linear Accelerator Center  
American Assoc. of Physics Teachers  
DURLE Electron Tubes

Exclusive Worldwide Distribution By:  
Science Kit & Boreal Laboratories

# Bibliografia

## ● Approccio storico culturale epistemologico

- Weinberg Steven: *il sogno dell'unità dell'universo*, Mondadori, 1993
- Lederman Leo, *La particella di Dio*, Mondadori, 1996
- Feynman Richard, *la legge fisica*, cap. 4 e 6 Boringhieri, 1971



## ● Approccio tecnico descrittivo

- Amaldi Ugo, *Fisica per licei scientifici; La fisica moderna*; Zanichelli
- Feynman Richard, *QED, la strana teoria della luce e della materia*, Adelphi, 1989
- Kane Gordon: *il giardino delle particelle*, Longanesi 1995
- Weinberg Steven: *la scoperta delle particelle subatomiche*, Zanichelli, 1986
- AA. VV. *La fisica delle particelle*, quaderni delle Scienze n. 103, 1998
- Lederman Leo, *Dai quark al cosmo*, Zanichelli, 1991
- AA. VV., *quark 2000, la fisica fondamentale italiana e le sfide del nuovo millennio*, le scienze, 1997

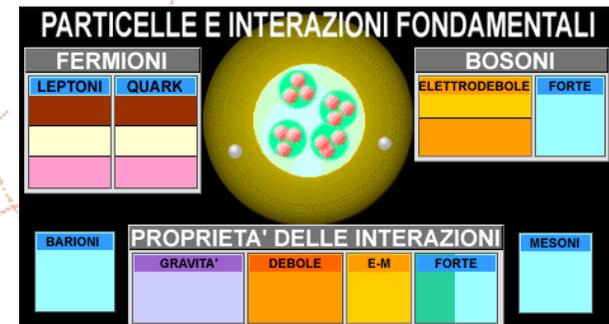


# Le leggi fisiche da tenere presenti (1)

## ● Il principio di indeterminazione di Heisenberg

$$\Delta x \Delta(mv_x) = \Delta E \Delta t \approx \hbar \approx 10^{-34} \text{ J s} \approx 6 \cdot 10^{-16} \text{ eV s}$$

- il confinamento delle particelle implica indeterminazione su p
- le particelle di vita media molto breve presentano una elevata indeterminazione di massa
- ha rilevanza in relazione alla esistenza di particelle virtuali (teoria dei campi quantizzati ed esistenza dei bosoni)



## Le leggi fisiche da tenere presenti (2)

### ● La relazione relativistica tra energia e quantità di moto per particelle ultrarelativistiche

$$E \approx pc$$

- L'energia e la quantità di moto sono proporzionali
- Vale anche per i fotoni che non hanno massa di riposo ma hanno comunque quantità di moto

### ● La relazione tra quantità di moto e lunghezza d'onda

$$p = h / \lambda$$

- Le particelle dotate di massa o senza massa hanno anche proprietà ondulatorie



## Le leggi fisiche da tenere presenti (3)

- La relazione tra energia e distanza con particelle ultrarelativistiche

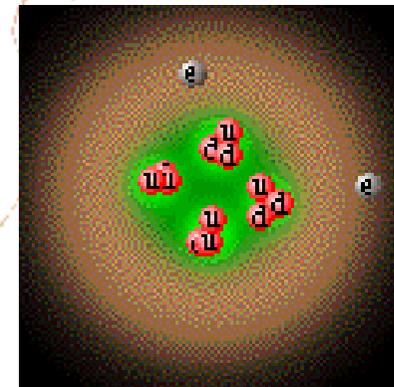
$$\Delta E \Delta x \approx h c = 10^{-7} \text{ eV m} = 10^{-16} \text{ GeV m}$$

- Servono 100 GeV per arrivare a  $10^{-18}$  m distanza tipica della interazione debole

- La relazione tra temperatura ed energia

$$E \approx k_B T \text{ con } k_B = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \approx 10^{-4} \text{ eV/K}$$

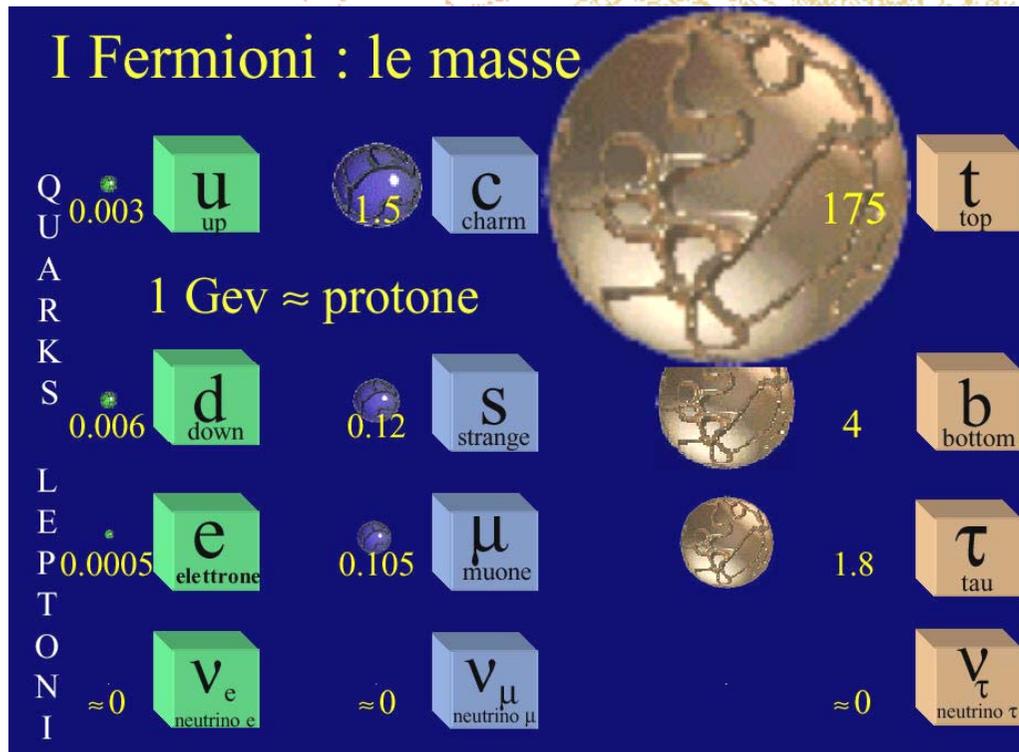
- 100 MeV corrispondono a  $10^{12}$  kelvin



# Le leggi fisiche da tenere presenti (4)

- La relazione tra massa ed energia nei processi di annichilazione e creazione di particelle

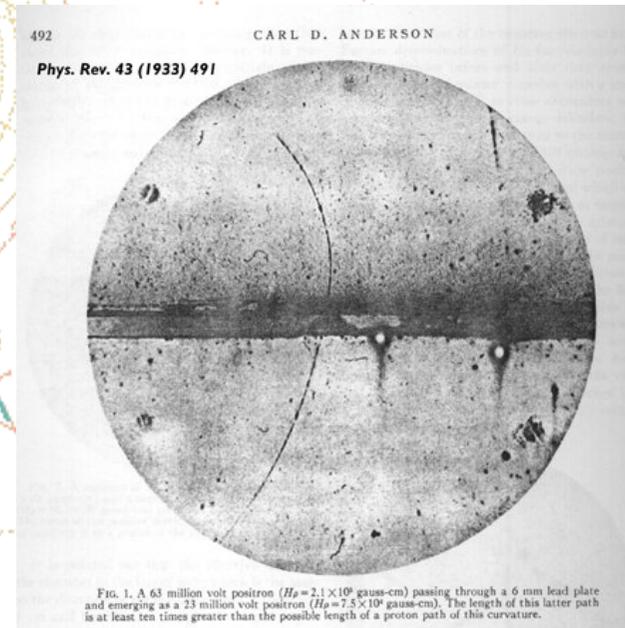
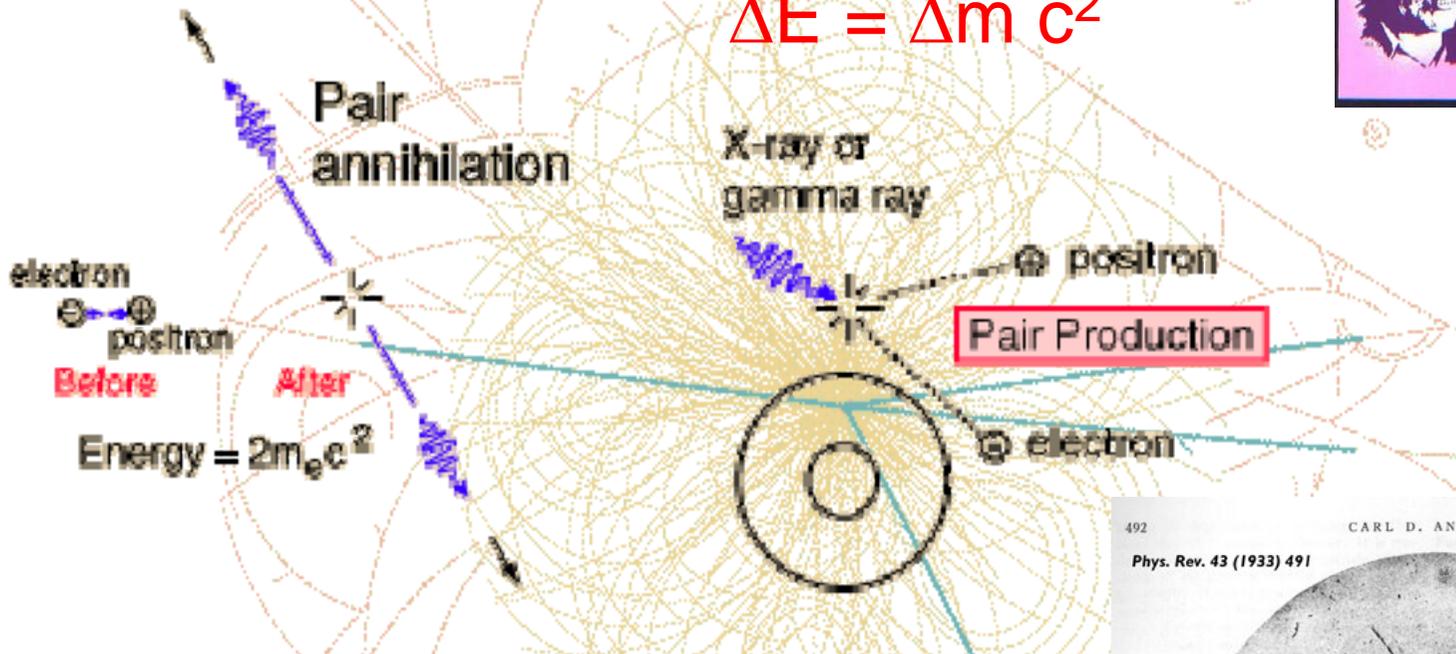
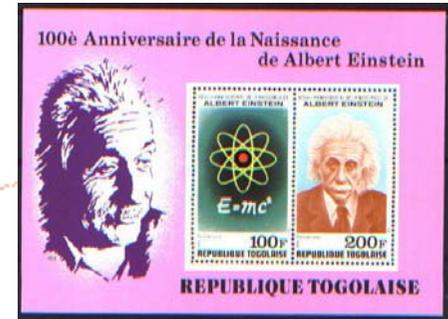
$$\Delta E = \Delta m c^2$$



- si parla in maniera indifferente di massa di riposo ed energia di riposo
- le masse si misurano in energie e le energie in masse
- Inversione di massa tra up e down che favorisce il protone

# Le leggi fisiche da tenere presenti (4)

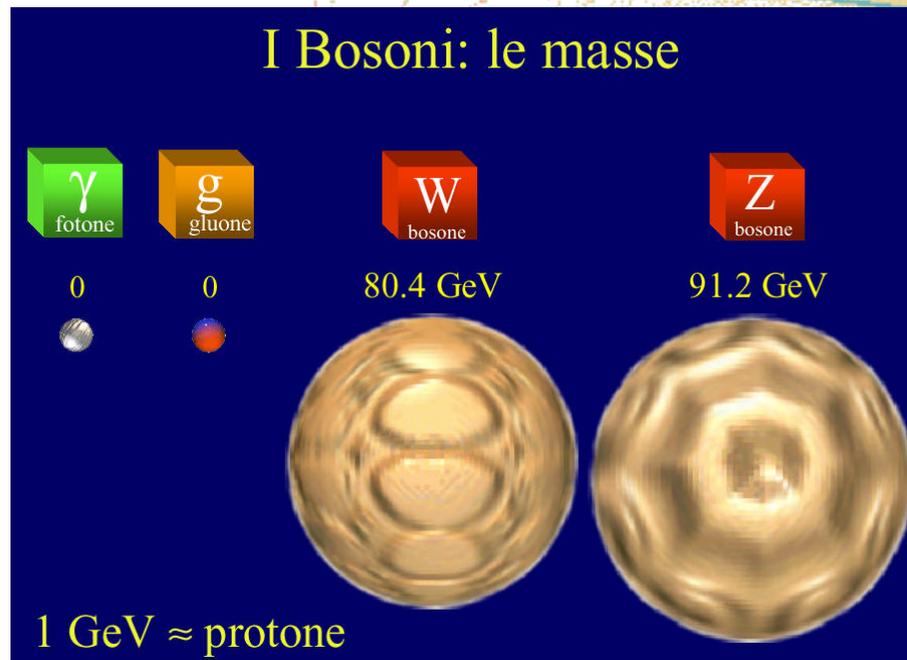
$$\Delta E = \Delta m c^2$$



## Le leggi fisiche da tenere presenti (5)

- La relazione tra massa del bosone e caratteristiche della interazione

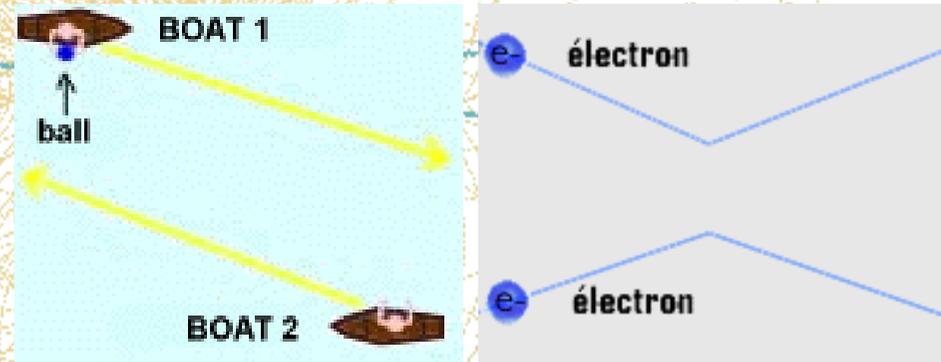
$$R = c \Delta t \approx c \frac{\hbar}{\Delta E} \approx c \frac{\hbar}{m c^2} \approx \frac{\hbar}{m c}$$



- Nel caso del fotone il raggio d'azione è infinito
- Sono circa 0.2 GeV/Fermi
- I bosoni W e Z con energie intorno ai 100 GeV hanno invece raggi d'azione molto bassi dell'ordine di  $10^{-18}$  m.
- Problemi nella interazione dei neutrini che risentono solo della interazione debole (non hanno carica di colore e non hanno carica elettrica)  $\Rightarrow$  sezione d'urto molto bassa

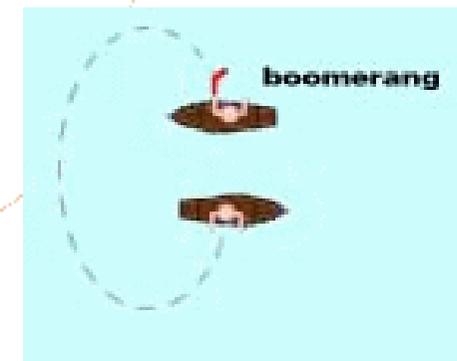
# L'elettrodinamica quantistica Q.E.D. (1)

- Nasce dalla necessità di applicare la m.q. alle interazioni relativistiche con due padri
  - 1928 Dirac: prima teoria con previsione dell'antielettrone e deduzione dello spin
  - 1946-48 Feynman: campo quantizzato fotoni e particelle virtuali

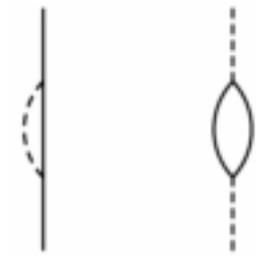


repulsione

attrazione

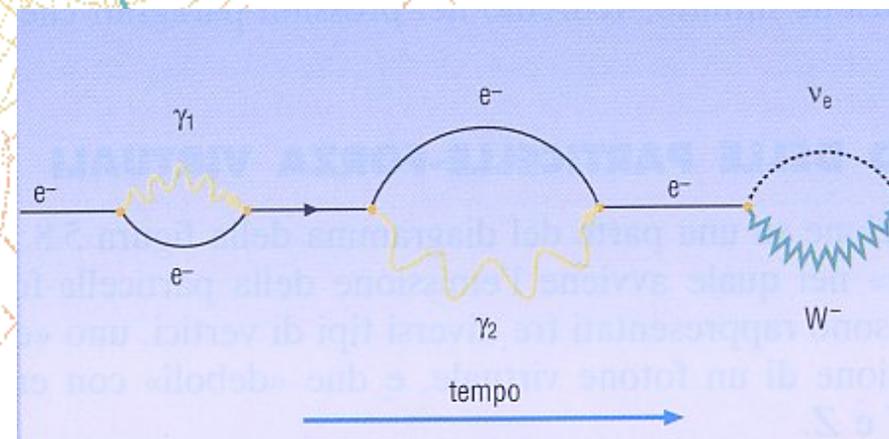
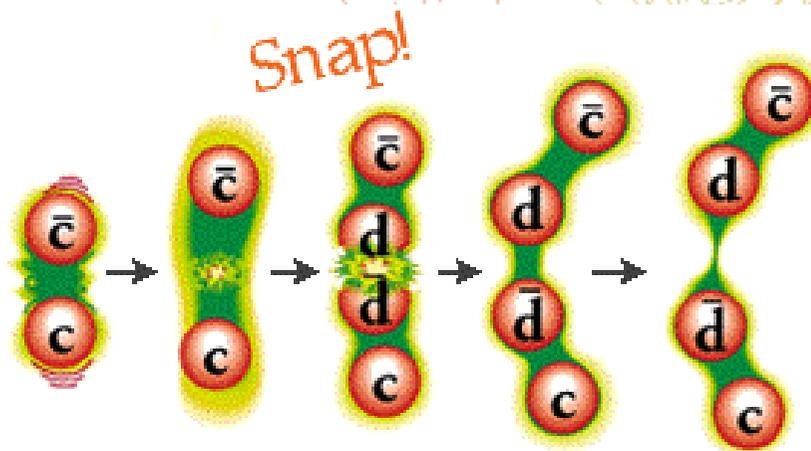


# L'elettrodinamica quantistica Q.E.D. (2)



## ● Cosa dice?

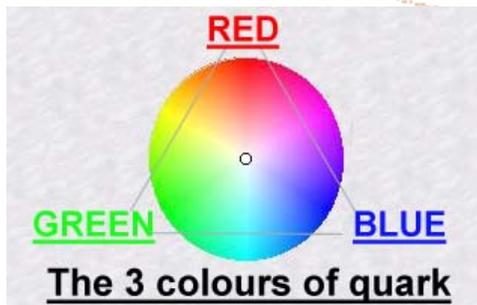
- La forza elettromagnetica è l'effetto dello scambio di fotoni
- L'elettrone in moto può emettere ed assorbire come e quando vuole un fotone virtuale che nasce e muore nel vuoto nel rispetto del principio di indeterminazione
- La stessa cosa può accadere ad un fotone con comparsa e scomparsa di una coppia particella antiparticella.
- Il vuoto è pieno di coppie di particelle e antiparticelle virtuali che possono diventare reali se si realizzano le condizioni energetiche necessarie



# Cos'è una antiparticella? (1)



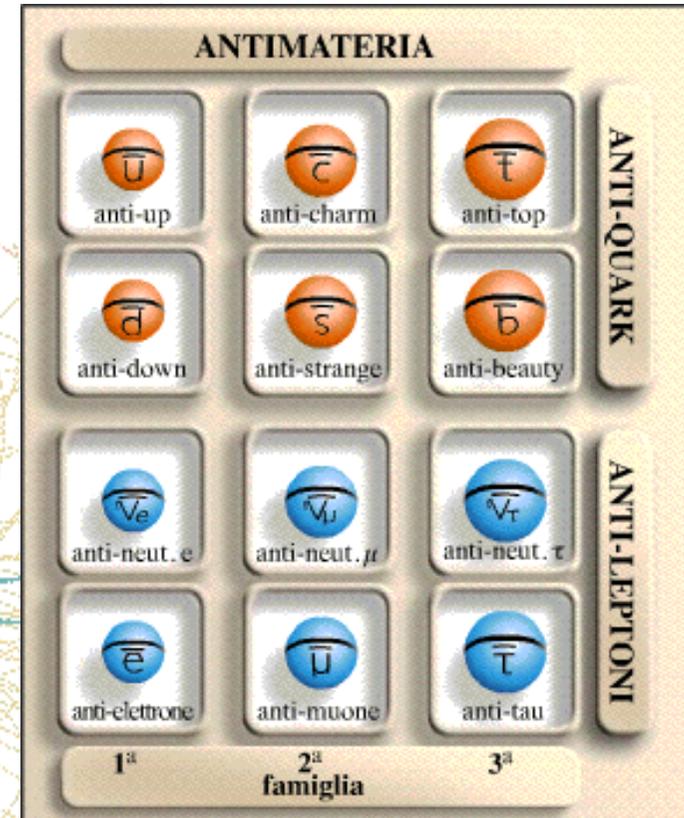
- è un elemento del reale:
  - non farsi ingannare dal fatto che sparisce; anche la massa sparisce
- è del tutto convenzionale chi sia la particella e chi sia la antiparticella
  - la cosa deriva dal fatto che viviamo in un mondo fatto prevalentemente di protoni, elettroni, neutroni, neutrini e fotoni
  - data la particella ? indicheremo la sua antiparticella con  $\bar{?}$
- Alcune proprietà importanti



- Stessa massa
- Carica opposta
- Stesso momento angolare
- Stesso decadimento
- Conservazione dei numeri legati alle famiglie

# Cos'è una antiparticella? (2)

FERMIONS			matter constituents spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...		
Leptons spin = 1/2			Quarks spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge	Flavor	Approx. Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge
$\nu_e$ electron neutrino	$<1 \times 10^{-8}$	0	<b>u</b> up	0.003	2/3
<b>e</b> electron	0.000511	-1	<b>d</b> down	0.006	-1/3
$\nu_\mu$ muon neutrino	$<0.0002$	0	<b>c</b> charm	1.3	2/3
<b><math>\mu</math></b> muon	0.106	-1	<b>s</b> strange	0.1	-1/3
$\nu_\tau$ tau neutrino	$<0.02$	0	<b>t</b> top	175	2/3
<b><math>\tau</math></b> tau	1.7771	-1	<b>b</b> bottom	4.3	-1/3




  
 **Materia**


  
 **Antimateria**

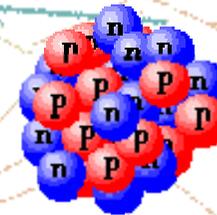
# Yukawa e la previsione del pione (1)



- Un po' di storia: il mesone una particella inventata per spiegare la stabilità del nucleo



- nel 1932 è stato scoperto il neutrone da un allievo di Rutherford, Chadwick
- a cosa serve il neutrone? ha a che fare con la stabilità dei nuclei pesanti; infatti  $A - Z$  cresce al crescere di  $Z$
- deve esistere una interazione di nuovo tipo per i nucleoni:  $r \approx 10^{-15}$  m



- Si prende a modello il fotone e si pensa ad una particella scambiata tra i nucleoni

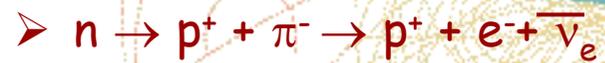
- il quanto del campo nucleare sarà mediato da una particella detta mesone  $p$  che nel gioco di scambio riesca a determinare una grande attrazione tra i nucleoni che non vengono distinti da essa.
- Se si applicano le relazioni di indeterminazione al raggio d'azione di  $10^{-15}$  m si trova una massa pari a  $275 m_e$  e una interazione della durata di  $10^{-23}$  s. Lo si chiama *mesone* = a metà tra elettrone e protone

# Yukawa e la previsione del pione (2)

- Il campo pionico tiene insieme i nucleoni



- Il decadimento beta meno

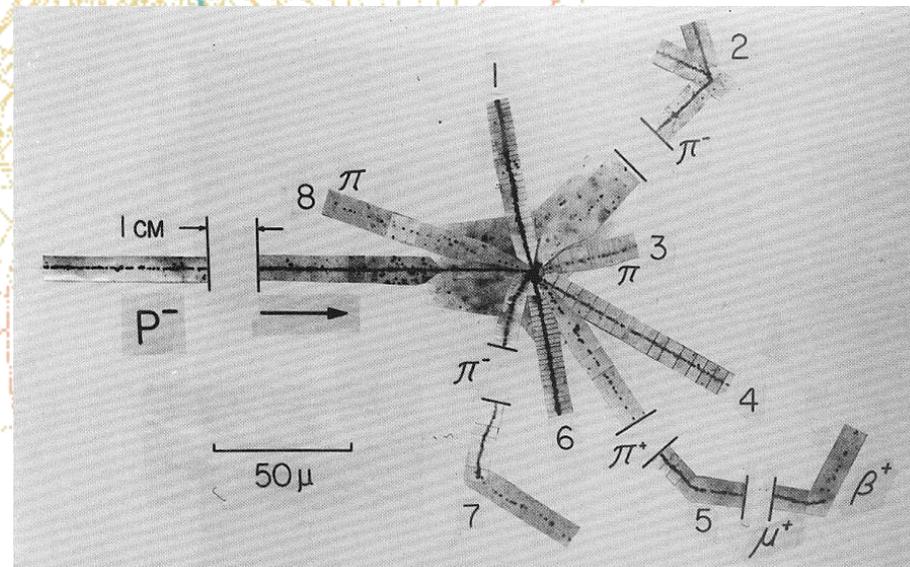


- Il decadimento beta più



## Yukawa e la previsione del pione (3)

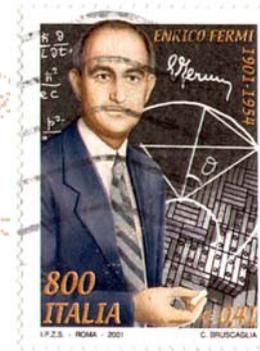
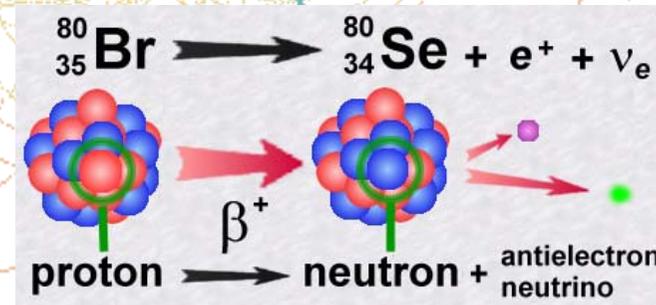
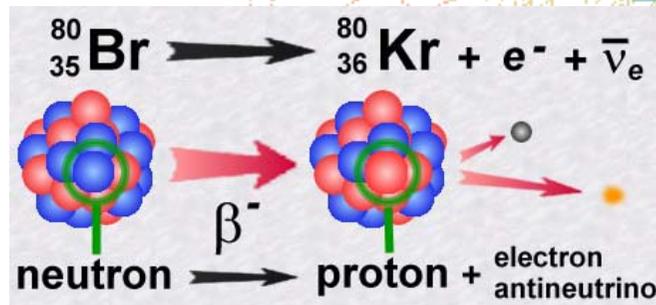
- La teoria non viene confermata dalla esperienza ma c'è anche la guerra e Fermi si dedica ad altro
  - 1937 Anderson osserva il mesone ma la massa è  $220 m_e$  inoltre questa particella (stranamente) interagisce debolmente con le rocce
  - 1947 Powell ed Occhialini scoprono il pione e lo distinguono dal primitivo mesone (oggi muone);  $m_\pi = 270 m_e$  inoltre  $\pi^\pm \rightarrow \mu^\pm + \nu$
- Le ricerche sui raggi cosmici, i reattori nucleari, e i primi acceleratori stanno per produrre lo zoo delle particelle
  - $n \rightarrow p^+ + \pi^- \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e$



# Il decadimento beta vecchia maniera

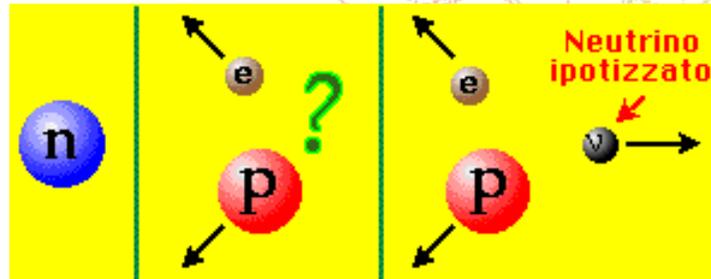
## ● Teoria di Fermi della interazione debole

- Teoria di Fermi della interazione debole: costante di accoppiamento e distanza ridotta
- Non si avanzano ipotesi sul mediatore della interazione: la presenza di un mediatore molto grande appare controintuitiva



# Una digressione sui neutrini (1)

- Cos'è il neutrino? Una trottola fatta di niente



- $m \approx 0$ ;  $q=0$ ;  $L = \frac{1}{2} h$ ; hanno energia e quantità di moto
- risentono solo della interazione debole
- problema dei neutrini solari  $\nu_e \leftrightarrow \nu_\mu$
- questione aperta della massa: materia oscura, asimmetria materia antimateria

- Un po' di storia

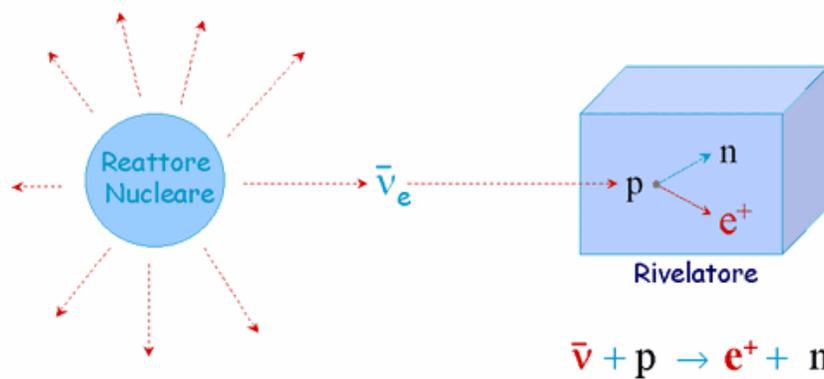
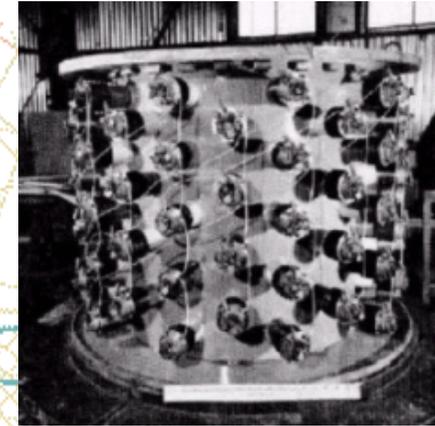
- 1930: li introduce per primo Pauli per salvare conservazione di energia, quantità di moto e momento angolare nel decadimento beta
- Fermi 1934: teoria del decadimento beta (interazione debole). Li chiama neutrini (nel 1932 è stato scoperto il neutrone)



## Una digressione sui neutrini (2)

### ● Prima osservazione sperimentale di $\bar{\nu}_e$ (1956)

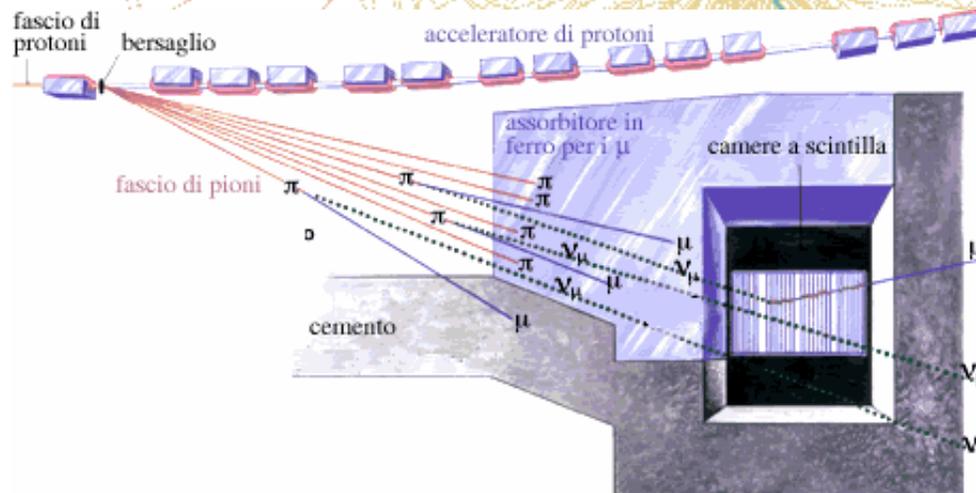
- tanto tempo a causa della bassa sezione d'urto
- si sfrutta il decadimento dei neutroni come sorgente di antineutrini elettronici
- osservare la equivalenza una sorgente intensa e una reazione inconfondibile perché doppia: riassetamento del neutrone con emissione di un gamma e annichilazione del positrone con emissione di 2 gamma caratteristici



## Una digressione sui neutrini (3)

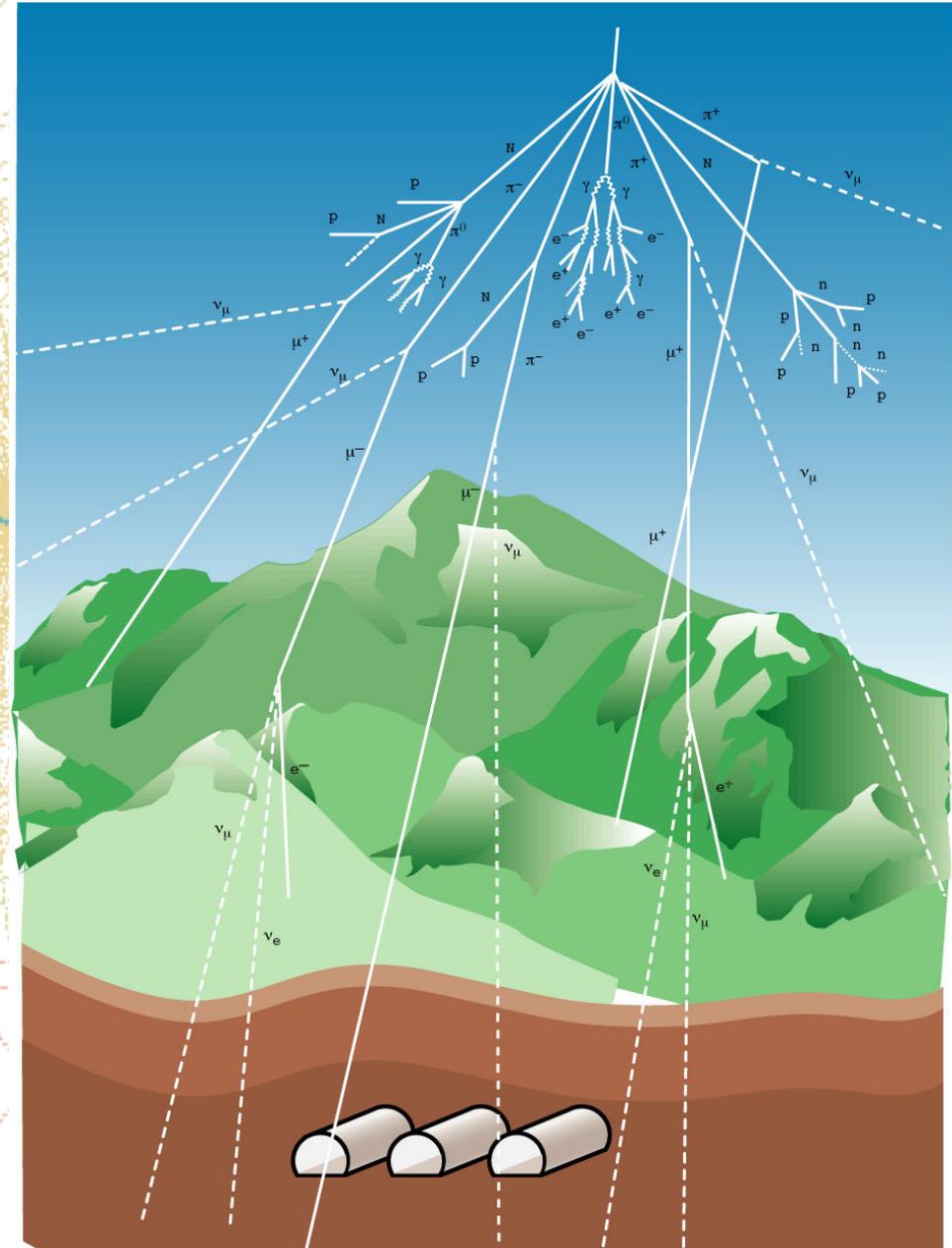
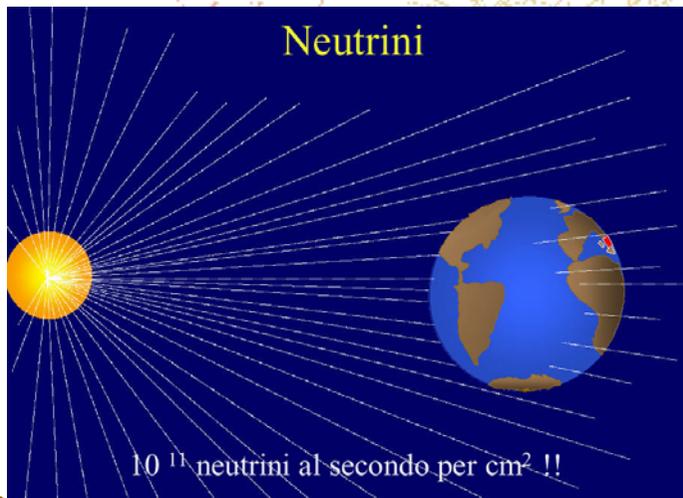
### ● Rivelazione del $\nu_\mu$ premio Nobel 1962 a Lederman

- si tratta di far vedere che i neutrini prodotti nel decadimento dei muoni producono solo muoni
- il racconto simpatico in "*la particella di Dio*" su come hanno fatto a bloccare i muoni che si producono insieme ai neutrini
- una bella conferma per la teoria delle famiglie di leptoni (conservazione del numero leptonico all'interno delle famiglie)



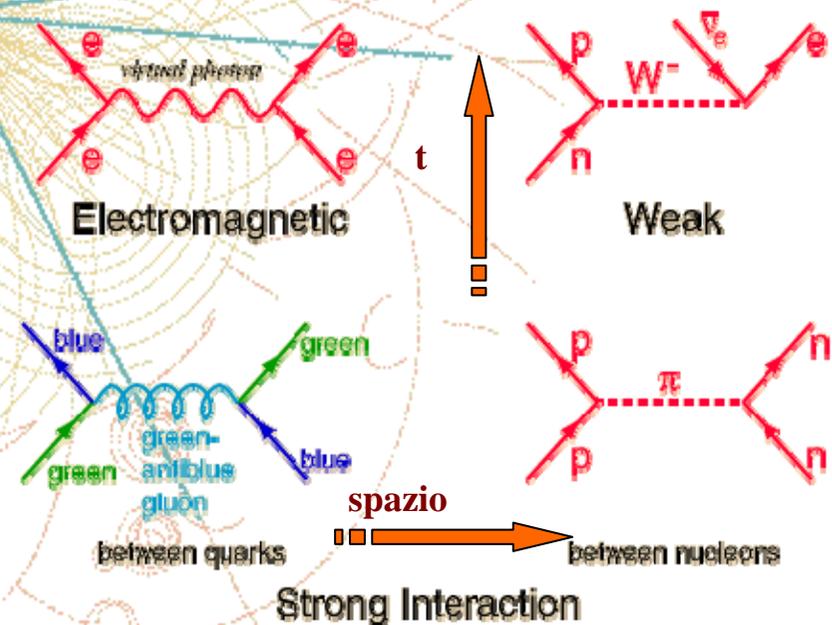
## Una digressione sui neutrini (4)

- I neutrini sfuggenti (elusivi)
  - sezione d'urto a 1 GeV di  $10^{-38} \text{ cm}^2$
  - vuol dire che in acqua fa 100 anni luce di percorso prima di interagire
  - il Sole ne produce  $10^{38}$  al s mentre  $6 \times 10^{10}/\text{cm}^2$  attraversano la terra ogni secondo
  - ad ogni secondo attraversano il corpo umano  $4 \times 10^{14}$  neutrini solari,  $5 \times 10^{10}$  neutrini da fondo di radiazione e altrettanti dalle centrali

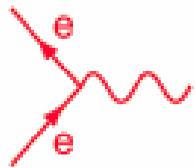


# I diagrammi di Feynman (1)

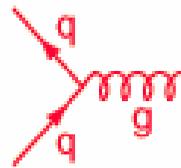
- Sono diagrammi spazio tempo nati per rappresentare graficamente le equazioni delle interazioni della QED
- I costituenti sono: vertici e linee piene per i fermioni e linee con diversi simboli per i bosoni
- Le antiparticelle sono rappresentate da frecce in senso contrario
- Sono reali (osservabili) solo le particelle che entrano od escono da vertici
- Le particelle che collegano vertici sono virtuali e non rispettano la relazione relativistica tra energia e quantità di moto



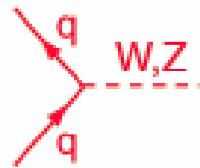
# I diagrammi di Feynman (2)



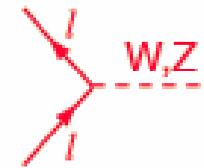
charges  
electromagnetic



quarks  
strong



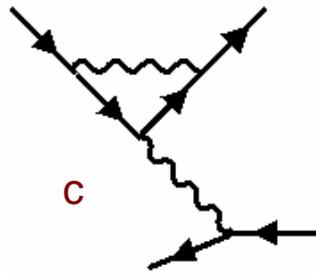
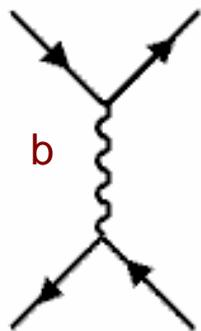
quarks  
weak interaction



leptons



## ● I vertici delle interazioni fondamentali con i relativi mediatori



● scattering tra un positrone (a sinistra) e un elettrone (a destra)

➤ figura a: interazione con scambio di un fotone virtuale

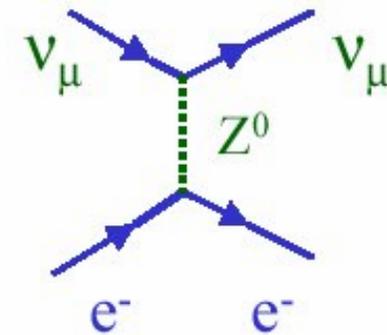
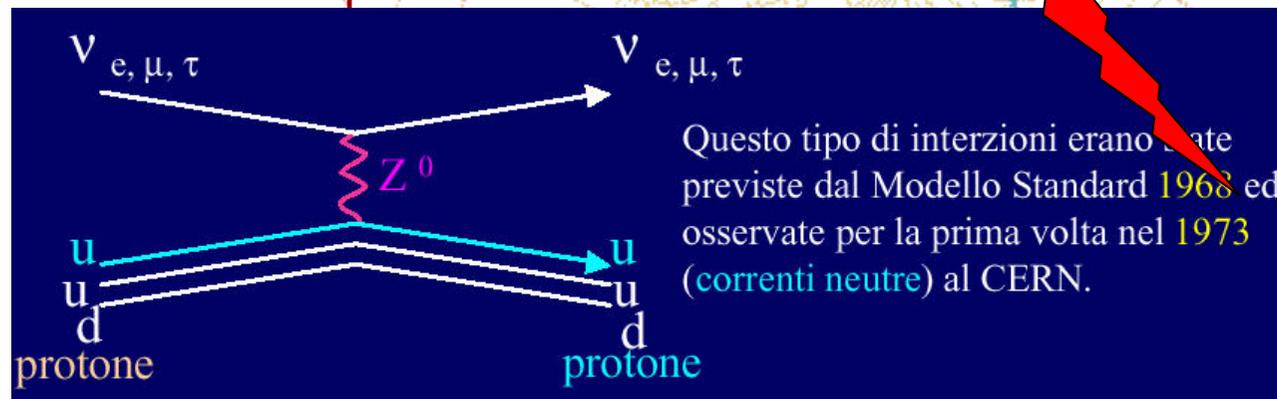
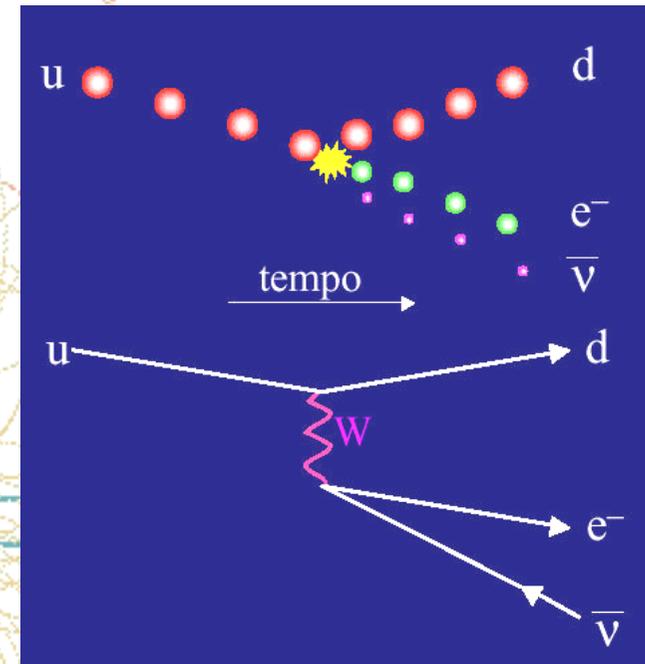
➤ figura b: interazione con fotone reale: annichilazione e materializzazione

➤ figura c: presenza di più vertici con fotoni reali e virtuali



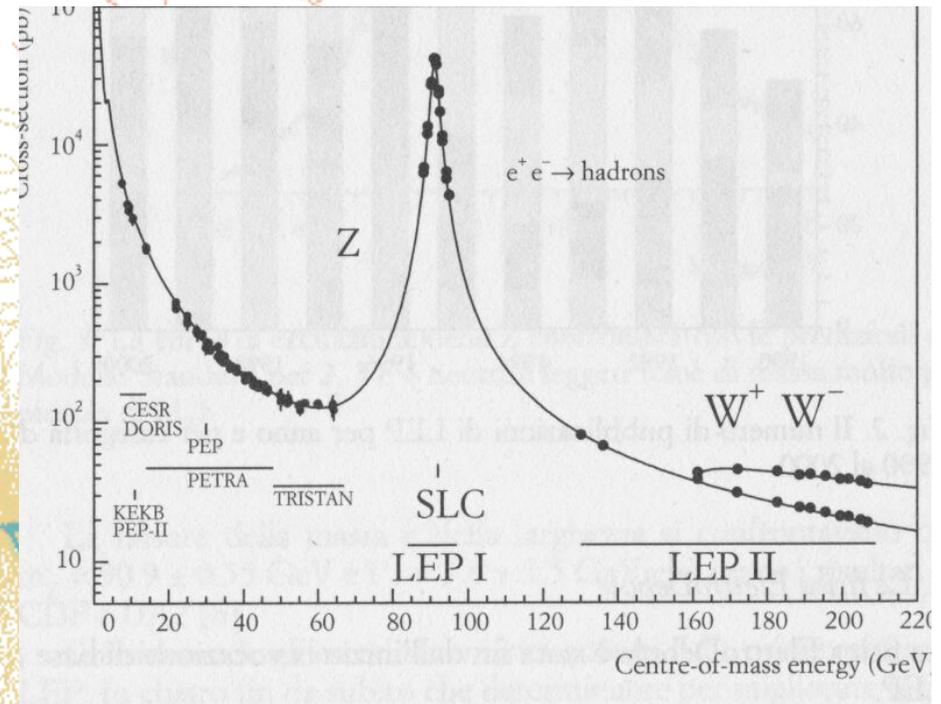
# I quark e l'interazione debole

- **Correnti cariche:** i bosoni  $W^+$  e  $W^-$  trasformano il sapore dei quark dando luogo alle cosiddette correnti cariche trasformazioni associate al cambiamento di carica elettrica delle particelle coinvolte
- **Correnti neutre:** ma il bosone  $Z$  produce anche una interazione senza cambiamento di sapore delle particelle coinvolte: correnti neutre come nella interazione tra neutrino e protone. In figura scattering dei neutrini contro adroni e leptoni



# Il LEP di Ginevra fabbrica di $W^\pm$ e $Z_0$

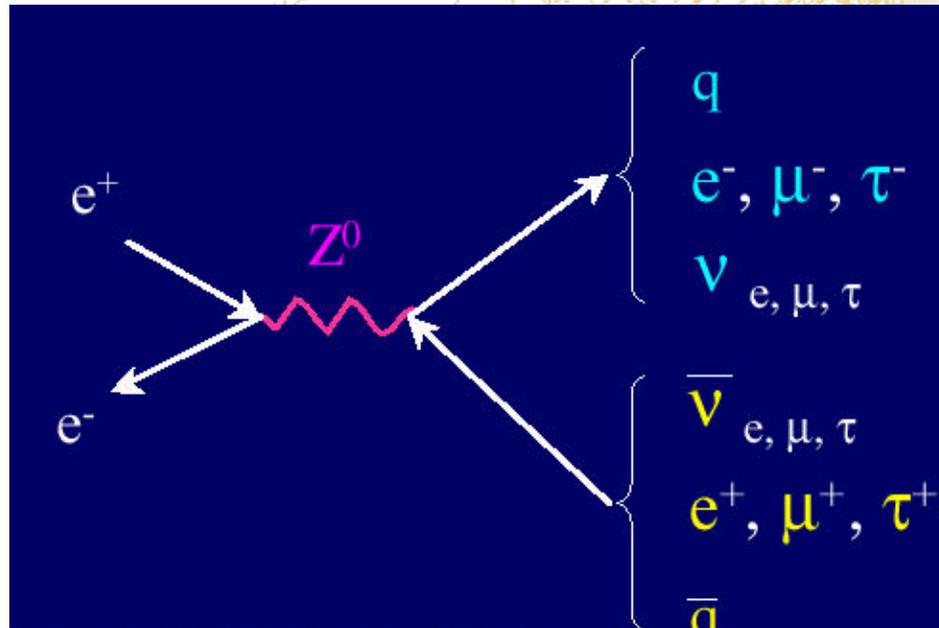
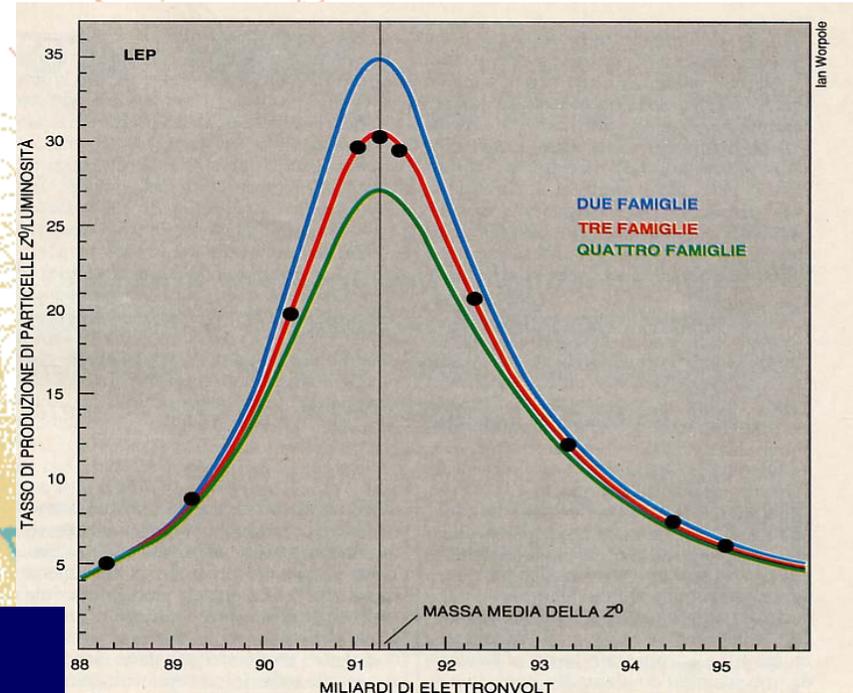
- Scattering  $e^+ \rightarrow \leftarrow e^-$ : si genera di tutto ma con le energie giuste emergono  $Z$ ,  $W^+$  e  $W^-$
- Risonanza a 91 GeV: La vita media piccola (dovuta al numero elevato di modi di decadimento) rende indeterminata la massa di  $Z_0$  (curva a campana)



- I decadimenti possibili: sono fissati dalla massa e sono possibili i 6 leptoni e 5 dei 6 quark. La teoria prevede lo sparpagliamento energetico di ognuno: 1.74 GeV per i quark, (3.5 MeV per ogni leptone carico, 166 MeV per ogni neutrino).
- Le famiglie di fermioni sono solo 3?: la teoria non fa previsioni ma, se sono più di 3 deve esistere un neutrino che nasce dal decadimento di  $Z_0$  e se c'è cambia la forma della curva anche se il suo partner dovesse essere molto massiccio

# Le famiglie di fermioni sono solo 3

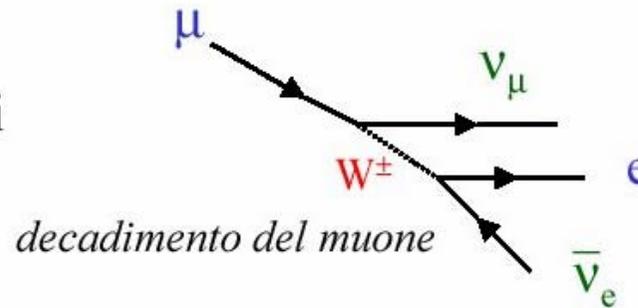
- In blu: curva teorica per due sole famiglie
- In rosso: curva teorica per 3 famiglie
- In verde: curva teorica per 4 famiglie
- In nero: i risultati sperimentali



I canali di decadimento di  $Z_0$  con produzione di coppie particella antiparticella e conservazione della carica nulla

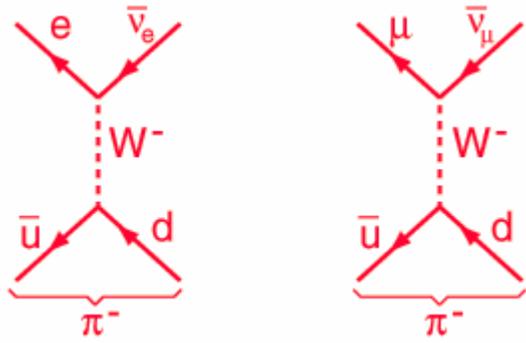
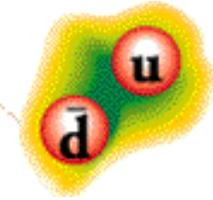
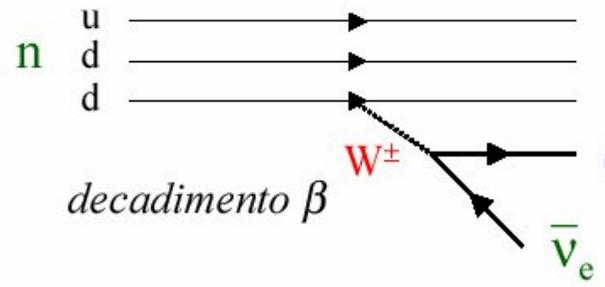
# Il decadimento di W...

Si possono avere processi puramente leptonici ...



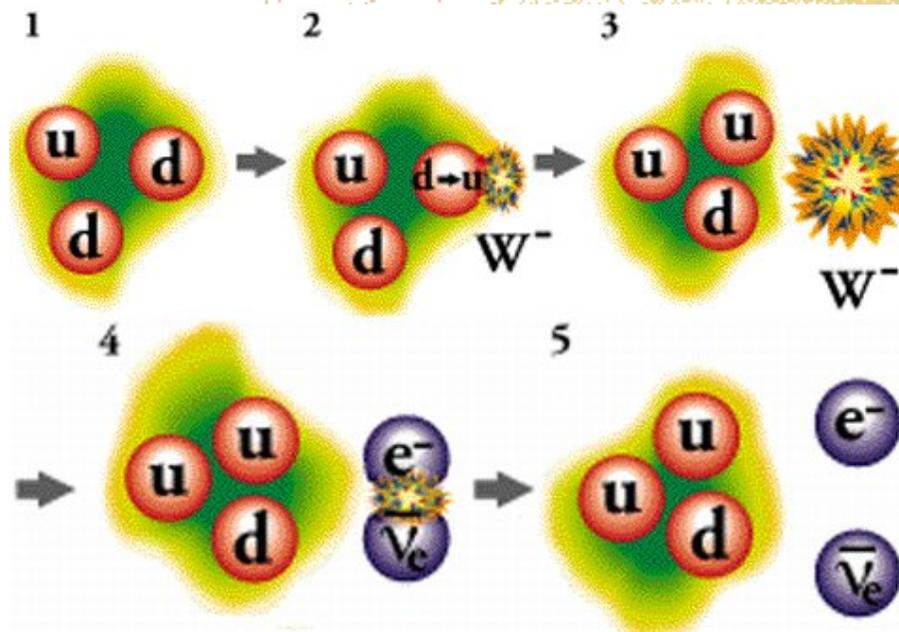
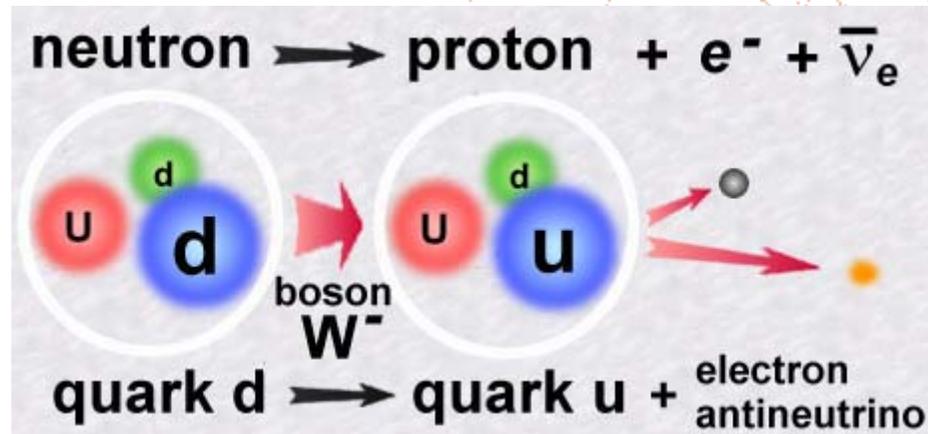
- $W^{++} \rightarrow e^+ + \nu_e$
- $W^{++} \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$
- $W^{++} \rightarrow \tau^+ + \nu_\tau$
- $W^{++} \rightarrow u\bar{d}$
- $W^{++} \rightarrow c\bar{s}$

ma anche semileptonici



Come nel caso del decadimento beta o nel decadimento del pione

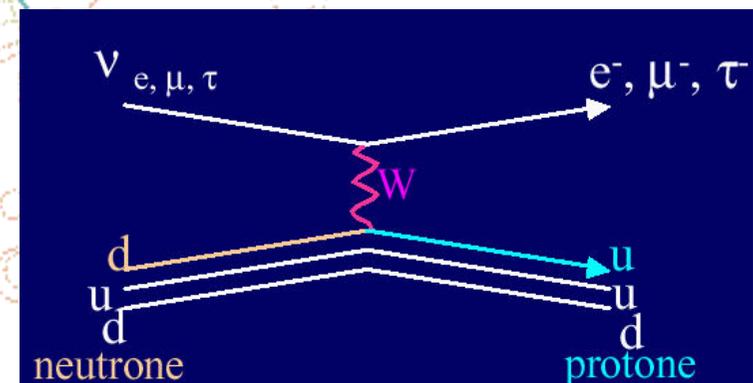
## ... ci spiega come avviene il decadimento beta



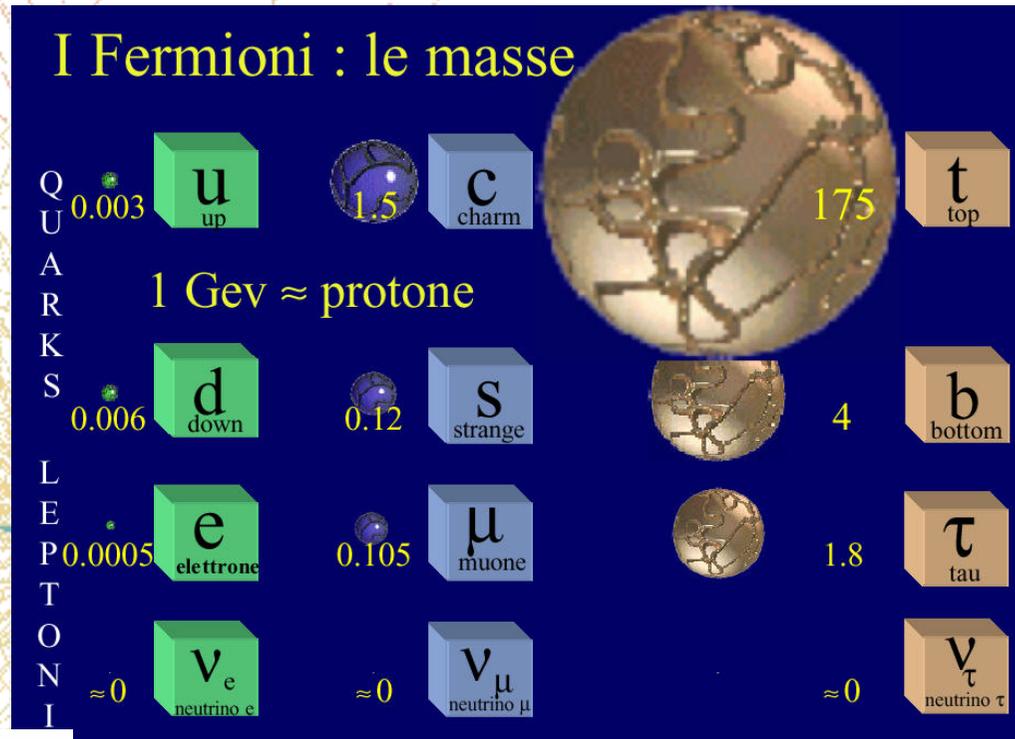
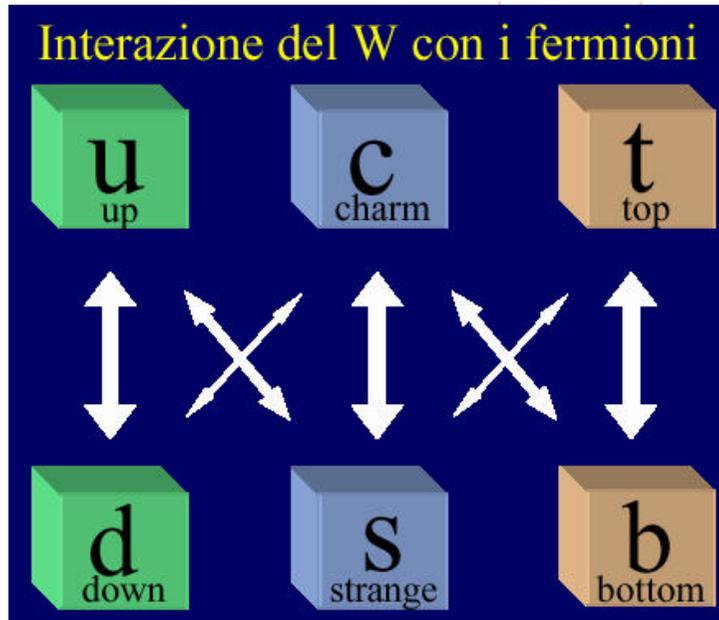
➤ Gli elettroni esistono nel neutrone: un  $W^-$  si materializza dal vuoto e media la interazione che trasforma down in up e decade con emissione di elettrone e antineutrino

➤ Il pione non c'entra: non è elementare

➤ Il neutrino ce la fa: un neutrino in ingresso vale come un antineutrino in uscita



# I quark e l'interazione debole



	d	s	b
u	1	0.2	0.004
c	0.2	1	0.03
t	0.003	0.04	1

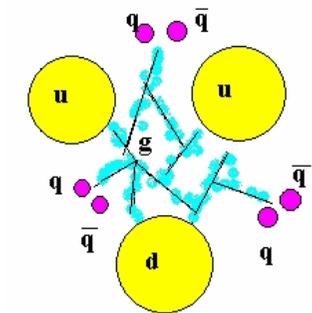
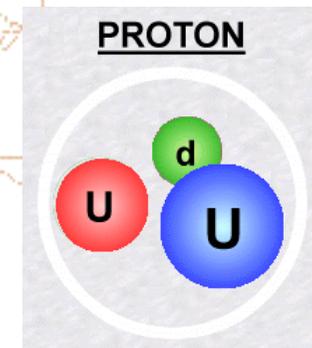
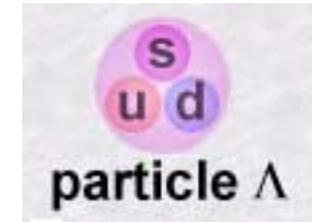
**A differenza dei leptoni si parlano in diagonale:** sono agevolate le trasformazioni con diminuzione di massa.

La tabella rappresenta le probabilità relative di trasformazione

# Nello zoo c'è più ordine: i barioni figli di 3 quark

## IV. Barioni stabili e quasi-stabili ( $J^P = 1/2^+$ , $L = 0$ , $B = +1$ )

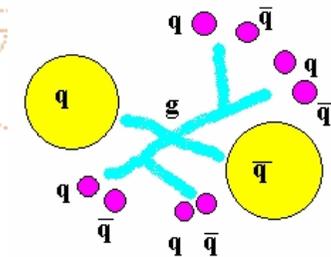
Particella	Composizione (quark)	$S$	$C$	$T$	$T_3$	Massa, MeV	Vita media, s	Principali canali di decadimento
p	$uud$	0	0	1/2	+1/2	938,279	$> 10^{32}$ anni	$p e^- \bar{\nu}_e$ (100%)
n	$udd$	0	0	1/2	-1/2	939,573	$925 \pm 11$	
$\Lambda^0$	$uds$	-1	0	0	0	1115,6	$2,63 \cdot 10^{-10}$	$p \pi^-$ (64%) $n \pi^0$ (36%)
$\Sigma^+$	$uus$	-1	0	1	+1	1189,4	$0,80 \cdot 10^{-10}$	$p \pi^0$ (52%) $n \pi^+$ (48%)
$\Sigma^0$	$uds$	-1	0	1	0	1192,5	$5 \cdot 10^{-20}$	$\Lambda \gamma$ (100%)
$\Sigma^-$	$dds$	-1	0	1	-1	1197,3	$1,48 \cdot 10^{-10}$	$n \pi^-$ (100%)
$\Xi^0$	$uss$	-2	0	1/2	+1/2	1315	$2,9 \cdot 10^{-10}$	$\Lambda \pi^0$ (100%)
$\Xi^-$	$dss$	-2	0	1/2	-1/2	1321,3	$1,64 \cdot 10^{-10}$	$\Lambda \pi^-$ (100%)
$\Omega^-$	$sss$	-3	0	0	0	1672,5	$0,8 \cdot 10^{-10}$	$\Lambda K^-$ (69%) $\Xi^0 \pi^-$ (23%) $\Xi^- \pi^0$ (8%)
$\Lambda_c^+$	$udc$	0	+1	0	0	2282	$(1-2) \cdot 10^{-13}$	Sono stati osservati 12 tipi di decadimenti diversi
$\Lambda_b^0$	$udb$	0	0			$\sim 5400$		



# Nello zoo c'è più ordine: i mesoni figli di $q$ e $\bar{q}$

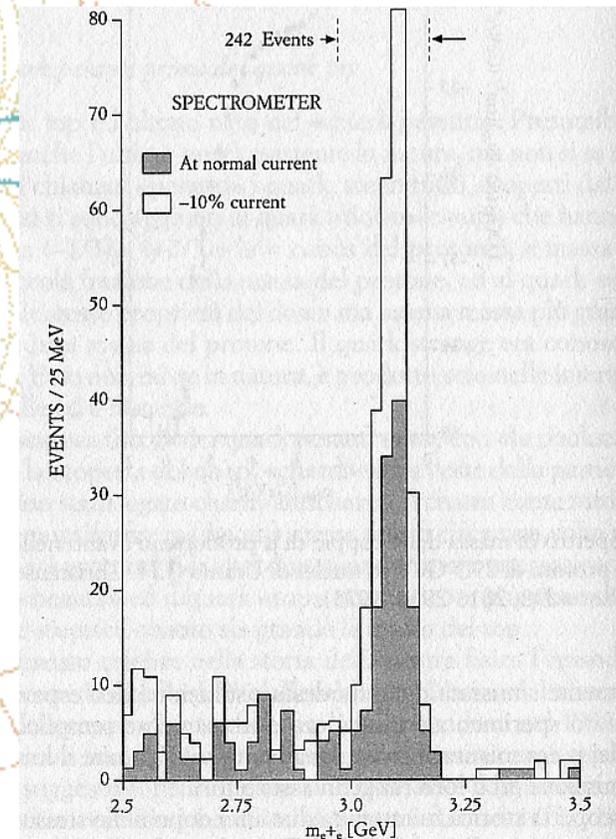
## III. Mesoni quasi-stabili ( $J^P = 0^{-1}$ , $L = 0$ , $B = 0$ ) <sup>1)</sup>

Particella	Composizione (quark)	$S$	$C$	$T$	$T_3$	Massa, MeV	Vita media, s	Principali canali di decadimento
$\pi^\pm$	$u\bar{d}$ ( $d\bar{u}$ )	0	0	1	$\pm 1$	139,567	$2,603 \cdot 10^{-8}$	$\mu^\pm \nu_\mu$ ( $\bar{\nu}_\mu$ ) (100%)
$\pi^0$	$uu, dd$	0	0	1	0	134,963	$0,83 \cdot 10^{-16}$	$\gamma \gamma$ (98,8%)
$\eta^0$	$u\bar{u}, d\bar{d}, s\bar{s}$	0	0	0	0	548,8	$0,7 \cdot 10^{-18}$	$\gamma\gamma$ (39%) $\pi^0 \pi^0 \pi^0$ (32%) $\pi^+ \pi^- \pi^0$ (24%)
$K^+$	$u\bar{s}$	+1	0	1/2	+1/2	496,67	$1,237 \cdot 10^{-8}$	$\mu^+ \nu_\mu$ (63,5%) $\pi^+ \pi^0$ (22,2%) $\pi^+ \pi^+ \pi^-$ (5,6%)
$K_S^0$	$d\bar{s}$	+1	0	1/2	-1/2	497,7	$0,89 \cdot 10^{-10}$	$\pi^+ \pi^-$ (68,8%)
$K^0$								$\pi^0 \pi^0$ (31,4%)
$K_L^0$							$5,18 \cdot 10^{-8}$	$\pi^\pm e^\mp \nu_e$ ( $\bar{\nu}_e$ ) (38,7%) $\pi^\pm \mu^\mp \nu_\mu$ ( $\nu_\mu$ ) (27,1%) $\pi^0 \pi^0 \pi^0$ (21,5%) $\pi^+ \pi^- \pi^0$ (12,4%)
$D^+$	$c\bar{d}$	0	+1	1/2	+1/2	1869	$\approx 9 \cdot 10^{-13}$	$\bar{K}^0 X + K^0 X$ ( $\approx 50\%$ ) $e^\pm X$ (20%) $K^- X$ (15%) $K^0 \pi^+ \pi^0$ (10%)
$D^0$	$c\bar{u}$	0	+1	1/2	-1/2	1865	$\approx 5 \cdot 10^{-13}$	$K^- X$ ( $\approx 45\%$ ) $\bar{K}^0 X + K^0 X$ ( $\approx 30\%$ ) $K^- \pi^+ \pi^0$ (10%)



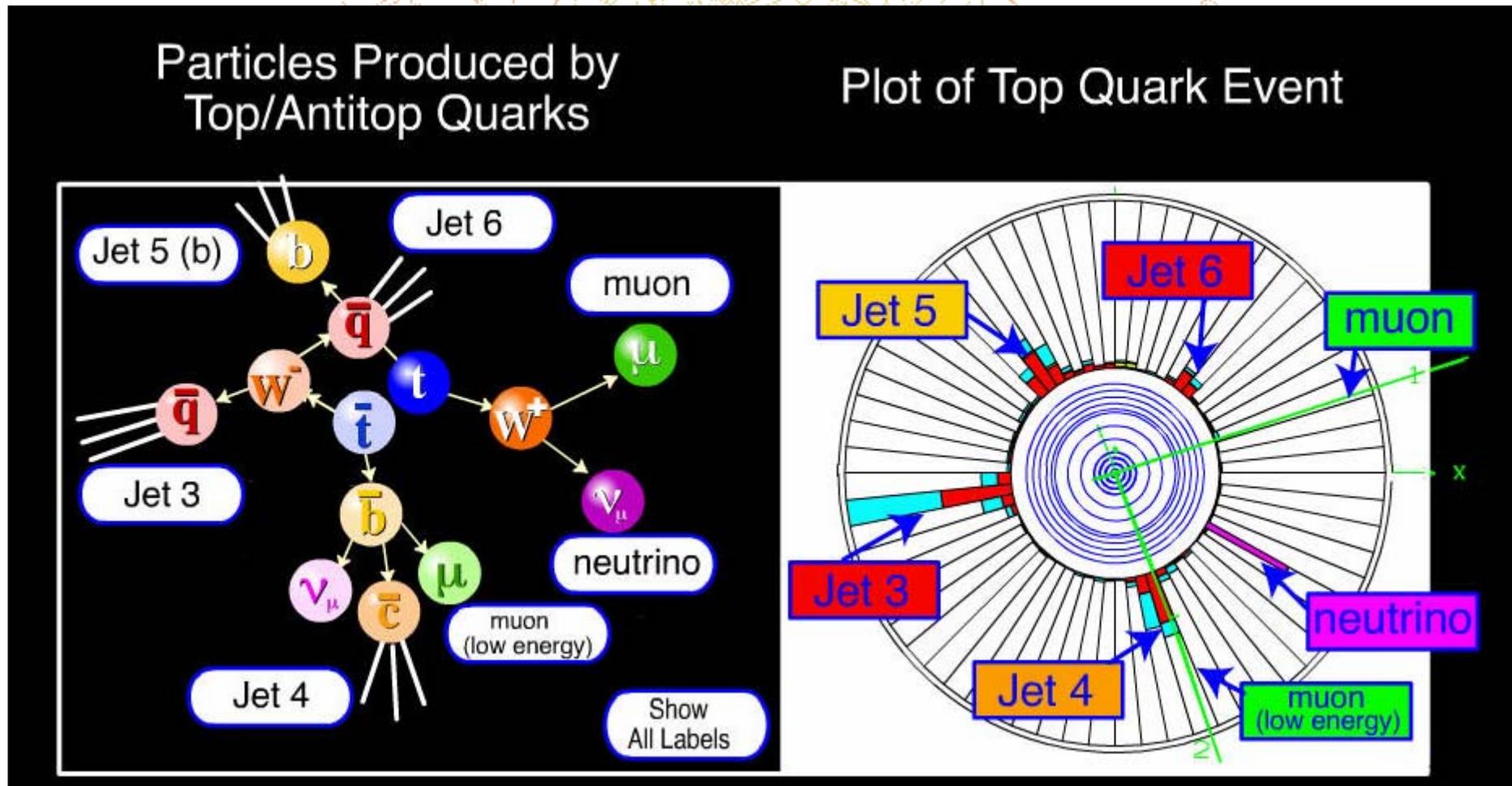
# Nello zoo c'è più ordine: nuovi mesoni e nuovi quark

- Dai mesoni la scoperta dei nuovi quark: la particella  $J/\psi$  vista al BNL e contemporaneamente a Stanford nel 1974
  - Picco di risonanza a 3.1 GeV della coppia  $e^+e^-$  indica la scoperta di una nuova particella formata da  $c$ (charm) e  $\bar{c}$ (anti-charm)
  
- Nel 1977 al Fermilab viene osservata una nuova risonanza: particella  $Y$ 
  - Picco di risonanza a 9.5 GeV della coppia  $\mu^+\mu^-$  indica la scoperta di una nuova particella formata da  $b$ (bottom) e  $\bar{b}$ (anti-bottom)
  - Forti indizi a favore delle tre famiglie di quark: inizia la caccia al  $t$ (top) che durerà 18 anni a causa della enorme massa



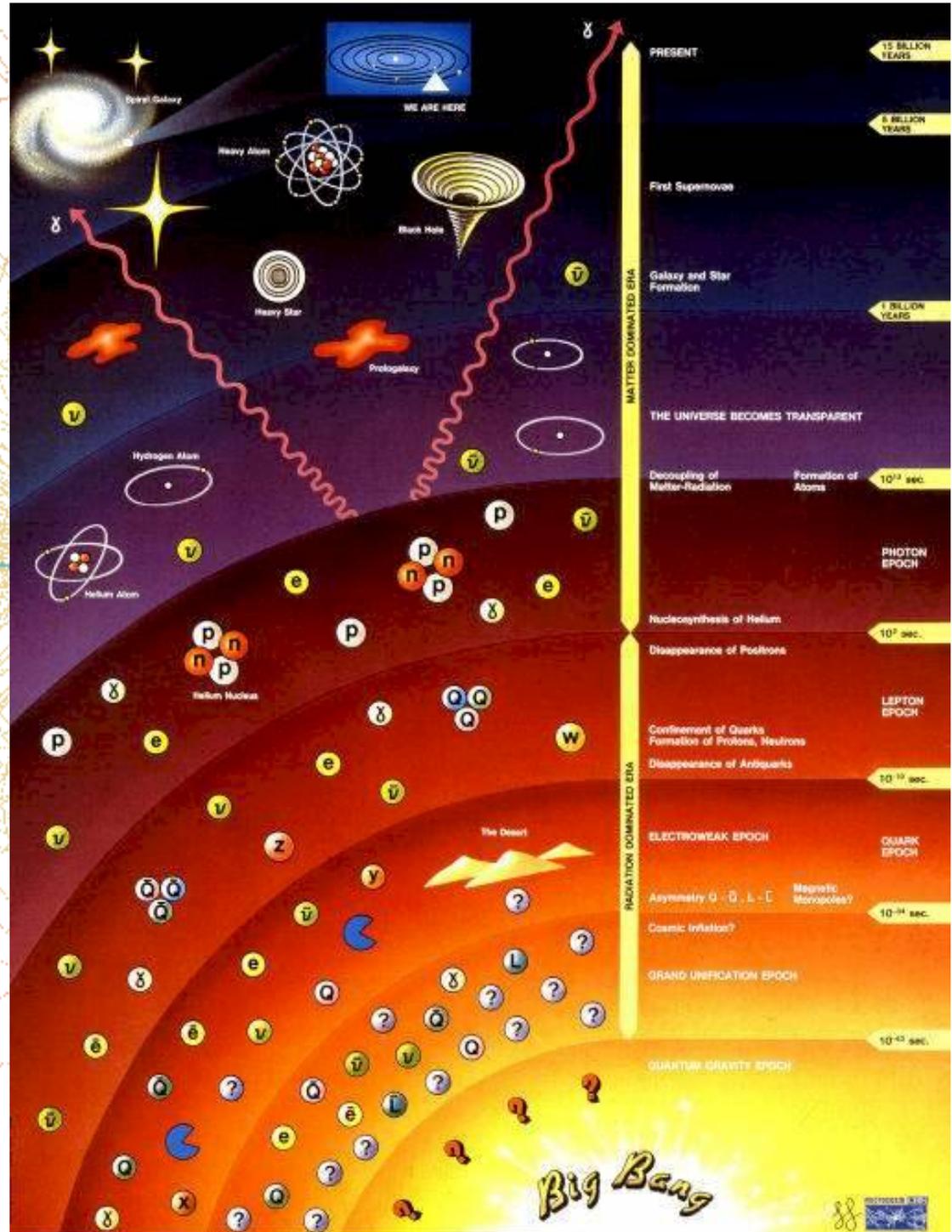
# Il quark top visto nel 1995 al Fermilab con massa pari a quella di un nucleo pesante

- **Decade così:** quattro getti adronici e un po' di leptoni



# Per l'anno prossimo 1905 - 2005

- Big bang
- Centenario della relatività
- Ragioniamo ancora sul modello standard



## Due parole su scola ed educazione (1)



Date all'insegnante il minor numero possibile di mezzi coercitivi, cosicché il rispetto da parte dell'allievo nasca solo dalle qualità intellettuali ed umane dell'insegnante stesso.

Perciò si dovrebbe guardare dal predicare ai giovani il successo, nella sua accezione corrente, come scopo della vita. Infatti il cosiddetto uomo di successo è colui che molto riceve dai suoi simili, incomparabilmente di più di quanto gli sarebbe dovuto per i servizi da lui resi. Il valore di un uomo, tuttavia, si dovrebbe giudicare da ciò che dà e non da ciò che riceve.

## Due parole su scuola ed educazione (2)



La motivazione più importante per svolgere con impegno il lavoro, nella scuola e nella vita, è il piacere del lavoro, piacere che si prova di fronte al risultato e alla consapevolezza del suo valore per la comunità. Nel risvegliare e rafforzare queste inclinazioni nel giovane io vedo il compito più importante della scuola. Solo questa è la condizione psicologica da cui nasce il gioioso desiderio delle più alte conquiste: la conoscenza e la capacità artistica.