

Introduzione

(Appunti per il corso di Fisica Nucleare e Subnucleare 2013/14)

Fiorenzo Bastianelli

Lo scopo del corso è dare una introduzione alla fisica nucleare e subnucleare (FNS). Per metterla in contesto conviene ricordare alcune scale di lunghezza:

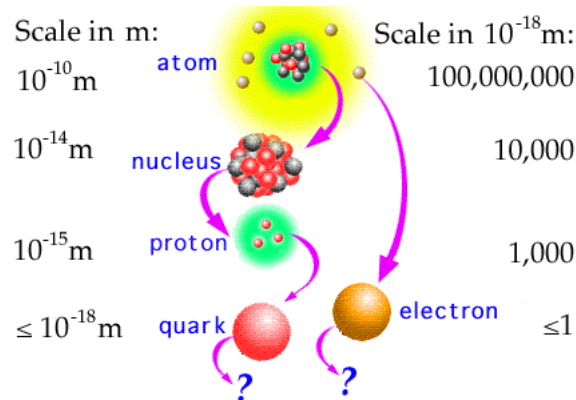
1 m scala umana

10^{-6} m = 1 μ m (dimensioni delle cellule di organismi viventi: 1-10 μ m)

10^{-10} m = 1 Å (ordine di grandezza del raggio di Bohr, dimensioni degli atomi)

10^{-15} m = 1 fm (dimensioni dei nuclei atomici, $r = (1.2 \text{ fm})A^{1/3}$ con A numero atomico)

10^{-18} m (scale investigabili attualmente ad LHC, le particelle elementari del modello standard sembrano puntiformi a questa scala)



Breve cronologia della FNS

1896 scoperta della radioattività (Becquerel): primi segnali dal mondo subatomico

1897 scoperta dell'elettrone (Thomson)

1900 introduzione del quanto d'azione $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ (Planck)

1905 Einstein: relatività speciale (velocità della luce c come velocità limite) e spiegazione dell'effetto fotoelettrico (fotone come quanto delle onde em con energia $E = h\nu = \hbar\omega$)

1911 esperimento di Rutherford: scoperta del nucleo atomico (particelle α su lamina d'oro, l'atomo è essenzialmente vuoto!), modello planetario dell'atomo

1913 teoria atomica di Bohr con livelli energetici quantizzati

1924 comportamento ondulatorio della materia postulato da de Broglie ($p = \frac{h}{\lambda}$)

1925 principio di esclusione di Pauli

1925-26 leggi della meccanica quantistica: eq. di Heisenberg ed eq. di Schroedinger

1925-30 quantizzazione del campo elettromagnetico (inizio della teoria quantistica dei campi: trattazione matematica del fotone come quanto del campo em)

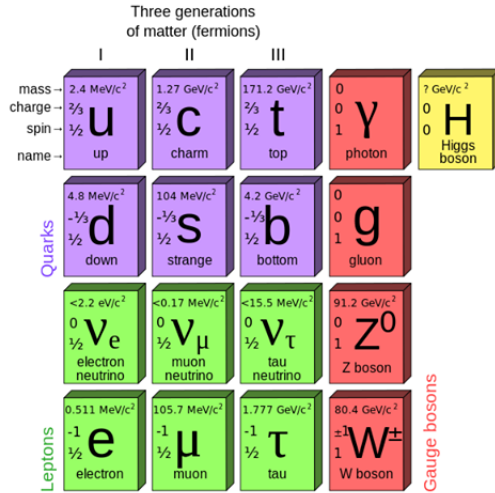
- 1928 equazione d'onda relativistica di Dirac per l'elettrone e^-
- 1930 ipotesi di Pauli dell'esistenza del neutrino ν
- 1931 usando la sua equazione Dirac predice l'esistenza dell'antielettrone (il positrone e^+)
- 1932 scoperta del neutrone (Chadwick)(per cui nucleo ${}^Z_N X_A$) e del positrone (Anderson)
- 1933 teoria di Fermi delle interazioni deboli
- 1935 teoria di Yukawa delle interazioni forti: mesoni π (i pioni) come mediatori della forza forte
- 1936 scoperta del muone (sorta di elettrone molto massivo), originariamente scambiato come il pione predetto da Yukawa.
- 1947 scoperta del pione (Powell, Lattes, Occhialini)
- 1947-1960 scoperta di moltissimi adroni dallo studio dei raggi cosmici, in particolare scoperta di adroni strani ($K, \Lambda, \Sigma, \dots$), interpretati poi come contenenti il quark strange s oltre ai quark up e down (u, d).
- 1954 Yang-Mills: teorie di gauge non abeliane (base teorica per le interazioni deboli e forti)
- 1956 scoperta sperimentale del neutrino elettronico ν_e
- 1961-1968 formulazione del modello standard (Glashow, Weinberg, Salam) con uso del meccanismo di Higgs
- 1973 scoperta delle interazioni deboli neutre postulate dalla teoria del modello standard
- 1974 scoperta del mesone J/ψ , stato legato di quark charm/anticharm: prova dell'esistenza del quark c (predetto da GIM nel 1970)
- 1974 scoperta del leptone τ , membro della terza famiglia di leptoni
- 1977 scoperta del mesone upsilon Υ , stato legato di un nuovo quark (bottom, b) con il suo antiquark
- 1983 Scoperta dei bosoni W^+, W^- e Z^0 , mediatori delle interazioni deboli cariche e neutre (Carlo Rubbia)
- 1995 verifica sperimentale dell'esistenza del quark top, t , che completa la terza famiglia di quarks
- 2013 scoperta del bosone di Higgs

Modello Standard

Le particelle elementari del modello standard sono riassunte nel seguente schema:

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> leptoni $\begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{pmatrix}$ </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> quarks $\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix} \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}$ </div>	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr> <td style="padding: 2px;">γ (fotone, forza em)</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">W^\pm, Z^0 (bosoni forza debole)</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">g (8 gluoni, forza forte)</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">H (bosone di Higgs)</td> </tr> </table>	γ (fotone, forza em)	W^\pm, Z^0 (bosoni forza debole)	g (8 gluoni, forza forte)	H (bosone di Higgs)
γ (fotone, forza em)					
W^\pm, Z^0 (bosoni forza debole)					
g (8 gluoni, forza forte)					
H (bosone di Higgs)					

o ancor meglio dalla seguente figura



Per ogni particella esiste anche l'*antiparticella*, che può a volte coincidere con la particella stessa (come ad esempio per il fotone o il bosone di Higgs).

I leptoni ed i quarks sono *fermioni* (sono particelle di spin 1/2 che soddisfano al principio di Pauli, per cui sono spesso chiamate particelle di materia).

Le rimanenti particelle sono *bosoni* (hanno spin intero) e sono considerate particelle di forza. Hanno tutte spin 1, tranne il bosone di Higgs che ha spin 0 ed è responsabile della massa delle particelle elementari del modello standard (per contro, particelle composte devono la loro massa anche alle altre interazioni, ad esempio il protone deve la maggior parte della sua massa alle interazioni forti).

Le particelle del MS sono considerate elementari, ma sono quasi tutte instabili e decadono nelle particelle più leggere (secondo la legge del decadimento radioattivo). Solo l'elettrone, un neutrino ed il fotone sono stabili.

I quarks ed i gluoni non sono mai stati osservati come particelle libere. Esse sono confinate dalla forza forte all'interno degli *adroni*. Gli adroni (particelle composte che sentono la forza forte) sono classificabili in *barioni* (che hanno spin semintero, e sono quindi fermioni, composti da tre quarks di valenza, ad esempio il protone p è composto dai quarks (u, u, d)) e *mesoni* (che hanno spin intero, e sono quindi bosoni, composti da coppia di quark/antiquark, ad esempio il pione π^- è composto da (d, \bar{u})). Il protone è un barione ed è stabile. Anche il neutrone è un barione, ma non è stabile: decade come $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$ con una vita media di circa 15 minuti (decadimento β). Naturalmente esistono altre particelle composte, quali nuclei ed atomi, stabili.

Nella figura qui sopra sono riportati anche i valori di massa, spin e carica elettrica delle particelle elementari. Manca la massa del bosone di Higgs, che è stato poi identificato con una massa di circa $126 \text{ GeV}/c^2$.

Cubo di Okun e le costanti fondamentali (descritto a lezione)

