

# Introduction to Particle Physics

Prof. Claudio Luci

[http://www.roma1.infn.it/people/luci/corso\\_fnsII.html](http://www.roma1.infn.it/people/luci/corso_fnsII.html)

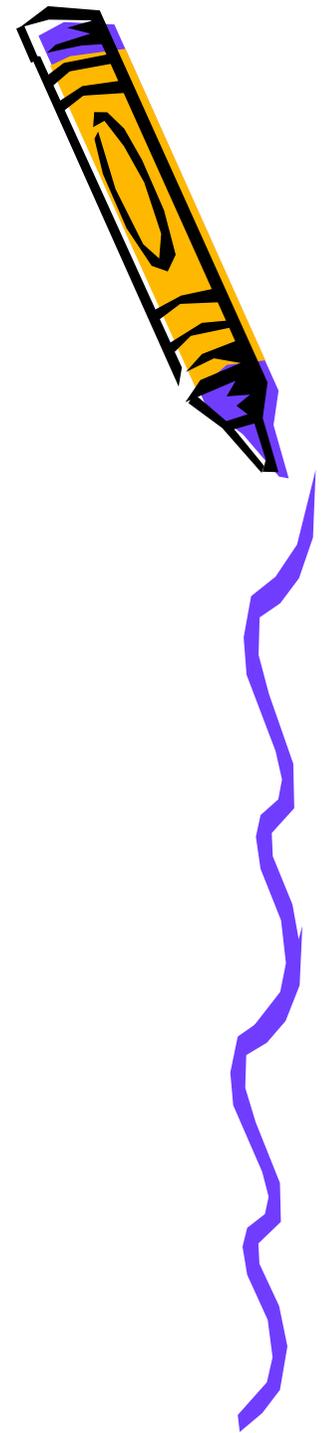
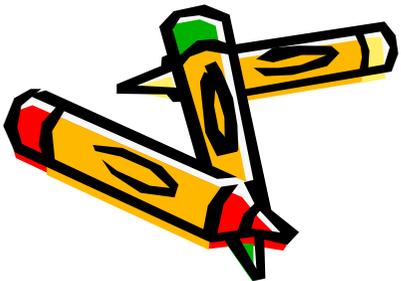
(6 CFU (3 +3) = 3x8 +3x12= 60 hours)



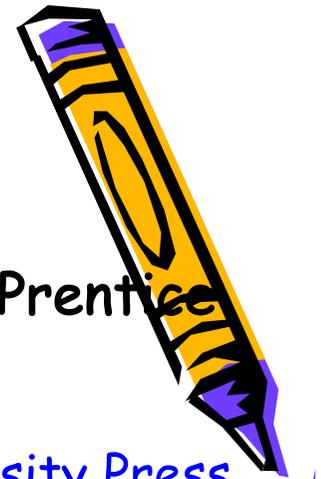
Monday:	14-16	Classroom 6 Fermi Building
Tuesday:	12-14	Classroom 5 Fermi Building
Wednesday:	9-10	Classroom 5 Fermi Building

# Exam

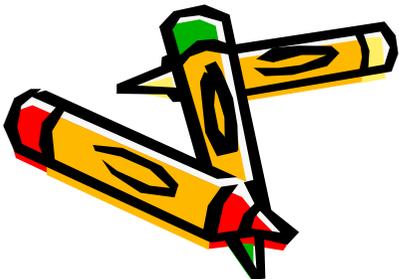
- It is oral only.
1. you can choose the first argument
  2. I will choose two more ones



# Bibliography



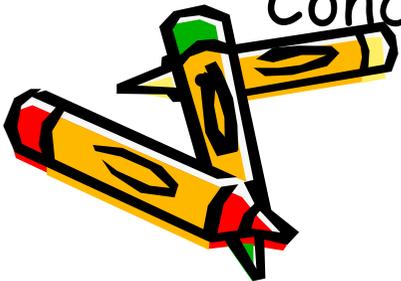
- Reference book:
- Nuclear and Particle Physics; Burcham and Jobes; Pearson Prentice Hall
- Other useful books are:
- Mark Thomson; Modern Particle Physics (2013) Cambridge University Press
- Martin - Shaw; Particle Physics
- Perkins; Introduction to high energy physics
- Povh, Rith, Scholz, Zetsche; Particelle e Nuclei
- S.Braibant, G.Giacomeli, M.Spurio; Particelle e Interazioni fondamentali
- 
- On these books you will find a more formal expect of Particle Physics:
- Griffiths; Introduction to high energy physics
- Halzen-Martin; Quark & Leptons
- In this book you can find the original papers on some important experimental results:
- Cahn-Goldhaber; experimental foundations of particle physics
- 



<http://pdg.lbl.gov/>

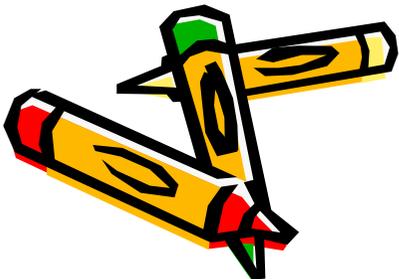
# Conoscenze di base

- Alcuni concetti di base non vengono spiegati in dettaglio in questo corso ma si assume che tali conoscenze siano state acquisite nel corso di Fisica Nucleare e Subnucleare I del terzo anno e/o nei corsi di meccanica quantistica.
- Ad esempio:
- classificazione delle particelle elementari: leptoni, adroni, fermioni, bosoni. Interazioni fondamentali. Meccanica relativistica: trasformazioni di Lorentz, invarianti relativistici, massa invariante, soglia di una reazione. Concetto di sezione d'urto, vita media. Regola d'oro di Fermi. Spin di una particella, composizione dei momenti angolari. Interazione delle particelle con la materia. Concetto di risonanza. Uso delle unità naturali.  
(Burcham: cap1, cap2, cap.7)



# Cenni alle Simmetrie e leggi di conservazione

- Unitarietà dell'operatore di simmetria. Generatore della trasformazione. Simmetrie continue e discrete. Numeri quantici additivi e moltiplicativi. **Operatore di parità**. Parità intrinseca. Invarianza di gauge e conservazione della carica. Numero barionico e leptonico. Misura della parità del  $\pi^-$ . **Simmetria per coniugazione di carica**. Autovalori della coniugazione di carica del fotone, del  $\pi^0$ , di stati di coppie particella-antiparticella (bosoni e fermioni). **Time reversal**. Cenni al principio del bilancio dettagliato. **Teorema CPT**. **Isospin**. **SU(2)**. Matrici di Pauli. Generatori di SU(2). Invarianza delle interazioni forti per trasformazioni di isospin. Formula di Gell-Mann Nishijima.
- (Burcham: cap. 8: par. 8.1-8.10, 8.12)



# Spettroscopia adronica e Modello a quark



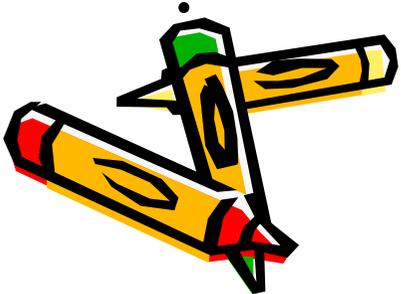
- **Introduzione alla classificazione delle particelle adroniche.**  
**Grafico isospin-iper carica.** Modello di Sakata. Cenni al Gruppo SU(3) e alle Matrici di Gell-Mann.  
**Introduzione dei quark. Numeri quantici dei quark.** Costruzione dell'ottetto  $0^-$  dei mesoni. Degenerazione degli stati con  $Y=0$  e  $I_3=0$ . Isodoppietto (u,d). Costruzione del  $\pi^0$  con l'operatore di abbassamento. Funzione d'onda dell' $\eta$  e dell' $\eta'$ . Formula di massa di Gell-Mann e Okubo. Mesoni vettoriali  $1^-$ . Mescolamento  $\phi^0$  e  $\phi^8$ . Angolo di mescolamento ideale dei mesoni  $\phi$  e  $\omega$ .  
**Decadimenti della  $\phi$  e dell' $\omega$ . Regola di OZI.** Masse dei barioni del decupletto  $3/2^+$ . **Masse efficaci dei quark u, d, e s.** **Discussione sul concetto di massa di una particella: massa dei quark.** Problemi con la simmetria della funzione d'onda della  $\Delta^{++}$ . **Introduzione del colore.** Iper carica di colore e di isospin di colore. Gli adroni sono "bianchi" (singoletti di colore). Carica di colore. **Gluoni.** Cenni alla QCD e liberta' asintotica. **Evidenza sperimentale del colore: larghezza del  $\pi^0$  e rapporto R.**

(Burcham: cap.9: par 9.1,9.2.1; cap.10: par.10.1 (cenni),10.2,10.3,10.4,10.5,10.6 (cenni),10.7.2 ; il colore può essere studiato sul Martin-Shaw, mentre un approfondimento sui mesoni può essere trovato sul Perkins)



# Struttura degli adroni e modello a partoni

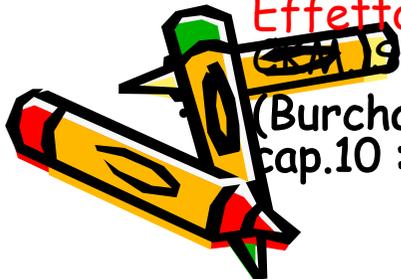
- Introduzione allo scattering elettrone-protone. Sezione d'urto di Rutherford, di Mott e di Rosenbluth. Fattori di forma elettrico e magnetico. Struttura del vertice di interazione fotone-protone. Risultati dell'esperimento di Hofstadter. Legge di scala dei fattori di forma. Fattore di forma di dipolo. Invarianza dalla scala. Scattering anelastico elettrone-protone. Relazione tra  $Q^2$ ,  $u$  e  $x$ . Significato dello scaling. Scaling di Bjorken. Funzioni di struttura. Interpretazione di Feynman dello scaling: ipotesi dei partoni. Funzione di distribuzione della densità dei partoni. Relazione di Callan-Gross. Quark di valenza e quark del mare. Regole di somma. Impulso trasportato dai gluoni. Cenni alla violazione dello scaling.
- (Burcham: cap.12, par.12.1-12.5,12.6.1)



# Interazioni deboli

- **Introduzione al decadimento beta.** Decadimenti di Fermi e di Gamow-Teller. Regole di selezione. **Interazione puntiforme di Fermi.** Interazione vettore-vettore. Costante di Fermi. Generalizzazione della teoria di Fermi. Associazione tra tipi di corrente e covarianti bilineari. Spettro di energia dell'elettrone nel decadimento beta. Correlazione angolare tra elettrone e neutrino per distinguere il tipo di interazione. Interazione V e A. Parametro  $f$  del decadimento beta. Determinazione sperimentale di  $C_V$  e del rapporto  $C_A/C_V$ . **Richiami sulla produzione associata delle particelle strane.  $\tau$ - $\theta$  puzzle.** Determinazione della parità dello stato a 2 pioni e a 3 pioni. Teoria a due componenti del neutrino. Proiettore di elicità. **Misura dell'elicità del neutrino: esperimento di Goldhaber.** Introduzione della violazione della parità nell'elemento di matrice delle interazioni deboli. **Interazione V-A.** Universalità delle interazioni deboli. Vita media del muone. Rapporti di decadimento (B.R.). Corrente vettoriale conservata. Interazione corrente-corrente delle interazioni deboli. **Violazione dell'unitarietà della teoria puntiforme di Fermi. Introduzione del bosone W. Propagatore del W.** Relazione tra  $M_W$  e  $G_F$ . Relazione tra carica debole e carica elettrica. Angolo di Weinberg. Decadimento del pione carico. Costante di decadimento del pione  $f_\pi$ . Vita media del pione. Confronto tra il BR in elettrone e quello in muone. Elicità del muone e dell'elettrone. Decadimento del K carico in muone. **Rapporti tra i decadimenti del K e del pione. Angolo di Cabibbo.** Organizzazione delle particelle in doppietti di isospin. Decadimento del K neutro in coppia di muoni. Corrente neutra con cambiamento di stranezza. **Effetto GIM. Introduzione del quark charm.** Scoperta della  $J/\psi$ . Matrice  $CKM$ . Scoperta della Ypsilon.

(Burcham: cap.5: par.5.2, cap. 11: par.11.1, 11.2,11.3.2,11.5-11.12 ; cap.10 :par.10.7.1,10.7.3)



# Il sistema dei mesoni K neutri e violazione di CP



- Il sistema dei K neutri. Produzione del  $K^0$  e anti- $K^0$ . **Autostati di CP:  $K^0_1$  e  $K^0_2$** . Decadimenti del  $K^0_1$  in  $\pi^+\pi^-$  e del  $K^0_2$  in  $\pi^+\pi^+\pi^-$ . Vite medie. **Oscillazioni di stranezza**. Diagramma di Feynman per l'oscillazione. Interazioni dei  $K^0$  e degli anti- $K^0$  con la materia. Determinazione di  $\Delta m$ . Rigenerazione dei  $K^0_1$ . **Esperimento di Cronin e Fitch sulla violazione di CP**. **Violazione di CP dei  $K^0_L$** . Violazione diretta e indiretta. Introduzione dei  $K^0_S$  e  $K^0_L$ . Introduzione dei parametri della violazione di CP  $\eta_{+-}$  e  $\eta_{00}$ . Decadimenti semileptonici del  $K^0_L$ . Introduzione del parametro  $\delta_I$ . **Definizione operativa della carica positiva**. Violazione diretta di CP. Elementi di matrice per le transizioni  $\Delta I=1/2$  e  $\Delta I=3/2$ . Introduzione del parametro  $\epsilon'$ . Introduzione del doppio rapporto per la misura di  $\epsilon'$ . Cenni alla violazione di CP nel sistema dei  $B^0$ . **Triangolo di Unitarietà**.

(Burham: cap.11: par.11.13; vedere anche il Perkins ed il Martin-Shaw)



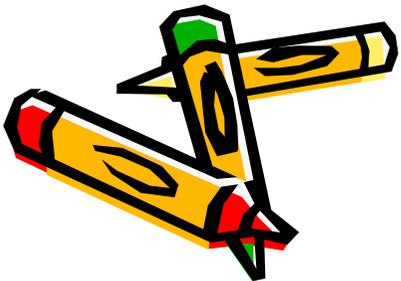
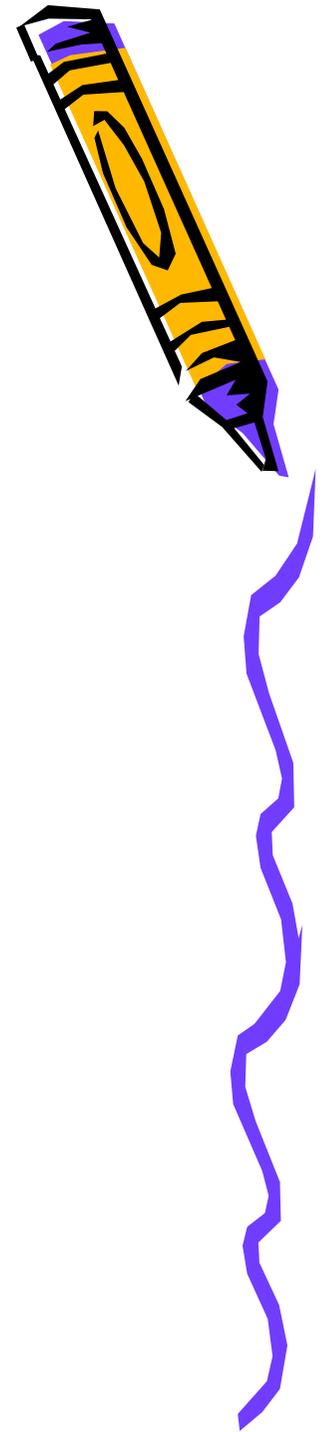
# Modello Standard.

- **Teorie di gauge. Invarianza di gauge locale: QED.** Campi di Yang-Mills. Modello di Glashow-Weinberg-Salam. **Rottura spontanea di una simmetria discreta.** Potenziale  $\lambda\phi^4$ . Rottura spontanea di una simmetria continua: teorema di Goldstone. **Meccanismo di Higgs.** Meccanismo di Higgs applicato al modello GWS. Angolo di mixing debole  $\theta_w$ . Massa dei bosoni. Massa dei fermioni. Bosone di Higgs. **Struttura a doppietti delle particelle nel Modello Standard.** Corrente carica puramente levogira. Corrente e.m. Corrente neutra di SU(2). Corrente neutra di ipercarica debole. Relazione di Gell-Mann Nishijima per l'isospin debole e l'ipercarica debole. Numeri quantici per leptoni e quark. **Interazioni nel modello SU(2) $\times$ U(1).** **Introduzione dei W carichi. Introduzione del fotone e dello Z.** Accoppiamento del fotone. Struttura delle correnti deboli neutre. Accoppiamento vettoriale e assiale dello Z. Cenni alla rinormalizzazione ed al running delle costanti di accoppiamento. **Scoperta delle correnti deboli neutre in camera a bolle.** Asimmetrie avanti-indietro nel processo  $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ . **Produzione dello Z e del W al collider SPPS.** Il collider  $e^+e^-$  LEP. **Misura della massa e delle larghezze parziali e totale dello Z. Misura del numero di famiglie di neutrini leggeri.** Produzione di coppie di W al LEP. Verifica dell'esistenza del vertice triplo di bosoni di gauge.
- (Burcham: cap.13: par.13.1,13.5,13.6,13.7 (cenni); cap.14 : par.14.1,14.2.2,14.3.1,14.4.2,14.3.3., 14.3.4, 14.3.6(cenni), 14.3.8,14.3.9, 14.3.14(cenni))



# Scoperta del bosone di Higgs

- Da rifare le slide!



# Oscillazione dei neutrini

- Dipende se avremo tempo a fine corso

