

Fisica Nucleare e Subnucleare

Paolo Maestro
maestro@unisi.it

CdL Fisica e Tecnologie Avanzate
Anno accademico 2020-21

Slide del corso

<https://elearning.unisi.it/enrol/index.php?id=3282>

<http://www.pi.infn.it/~maestro/FisicaNucleareSubnucleare>

Testi consigliati

[1] Fisica dello spazio-tempo (Spacetime Physics), Taylor & Wheeler, ed. Zanichelli

[2] Introduction to nuclear and particle physics, A. Das & T. Ferbel, ed. World Scientific
2nd edition

[3] Nuclear and Particle Physics, W.S.C. Williams, ed. Oxford Science Publication

[4] Particelle e Nuclei, Povh, Rith, Scholz, ed. Boringhieri-Bollati

[5] Techniques for nuclear and particle physics experiments W.R. Leo, Springer-Verlag

[6] Introduction to high energy physics D. Perkins, ed. Cambridge University press

[7] The experimental foundations of particle physics Cahn & Goldhaber, ed. Cambridge University press

[8] High energy astrophysics Longair, ed. Cambridge University press

[9] Nuclear and particle physics Burcham & Jobes, ed. Pearson

[10] Particle Data Group 2016 Reviews of particle physics

http://pdg.lbl.gov/2016/reviews/contents_sports.html

Programma del corso

Processi di diffusione [1,2]

Quadrivettore energia-impulso. Massa invariante. Trasformazioni di Lorentz del quadrimomento. Cinematica della diffusione elastica ed inelastica. Cinematica dei decadimenti. Collisioni relativistiche. Trasformazioni da sistema del laboratorio al sistema del centro di massa. Soglia di una reazione.

Esercizi sulla cinematica di collisioni e decadimenti.

Introduzione storica a fisica nucleare [2,3,4]

Introduzione storica sulla fisica nucleare: scoperta dell'elettrone, del protone, del neutrone. Scoperta della radioattività. Esperimenti di Thomson, Millikan, Rutherford, Chadwick. Modello atomico di Thomson e Rutherford.

La scoperta dei raggi cosmici. Gli sciami atmosferici. Spettro energetico e composizione dei raggi cosmici. La scoperta dell'antimateria. Potere risolutivo della radiazione. Particelle elementari e composte.

Sezione d'urto e scattering Rutherford [2,3,4]

Flusso e intensità di particelle. Sezione d'urto totale e differenziale. Coefficiente di assorbimento e cammino libero medio di una particella. Luminosità. Sezione d'urto Rutherford: calcolo classico. Limiti di validità della sezione d'urto Rutherford. Stima delle dimensioni nucleari. Trasformazione della sezione d'urto da sistema CM a sistema LAB. Relazione fra sezione d'urto e regola d'oro di Fermi.

Regola d'oro di Fermi. Densità degli stati finali. Sezione d'urto Rutherford: calcolo quantistico.

Problemi su sezione d'urto e scattering Rutherford.

Diffusione elettrone-nucleo e fattore di forma elettrico [3,4]

Diagrammi di Feynmann: particelle virtuali, costanti di accoppiamento, propagatore, quadrimpulso trasferito. Diffusione di elettroni su nuclei. Sezione d'urto Mott. Elicità. Fattore di forma elettromagnetico nucleare.

Misure sperimentali dei fattori di forma dei nuclei. Distribuzioni di carica sferiche e corrispondenti fattori di forma. Stima dei raggi nucleari dai punti di minimo del fattore di forma. Raggio nucleare. Distribuzione di Woods-Saxon. Cenni a scattering anelastico elettrone-nucleo.

Masse dei nuclei e modelli nucleari [2,3,4]

Difetto di massa e energia di legame. Misura dell'energia di legame. Spettrometro di massa. Linea di stabilità dei nuclei.

Formula semi-empirica di massa. Modello a goccia. Modello a gas di Fermi. Stima dei termini di Coulomb e di asimmetria della formula di massa. Numeri magici nucleari. Nuclei speculari. Il modello a shell: potenziale dell'oscillatore armonico, potenziale di Woods-Saxon, potenziale di spin-orbita. Previsioni del modello a shell. Calcolo di spin e parità dei livelli nucleari fondamentali.

Momento magnetico anomalo. Momento magnetico nucleare.

Esercizi su masse e modelli nucleari.

Diffusione elettrone-nucleone e fattori di forma magnetico e elettrico [4]

Diffusione elettrone nucleone. Sezione d'urto di Rosenbluth. Misura dei fattori di forma elettrico e magnetico dei nucleoni. Misura del raggio del nucleone. Diffusione quasi-elastica elettrone-nucleone. Misura dell'impulso di Fermi.

Decadimenti radioattivi e reazioni nucleari [2,3,4]

La legge del decadimento radioattivo. Misure di vita media. Decadimenti: α , β , γ , cattura elettronica, conversione interna. Sorgenti di radiazione.

Famiglie radioattive naturali. Equilibri nelle catene di decadimento. Datazione radiometrica.

Larghezza di decadimento. Distribuzione di Breit-Wigner. Vita media e branching ratio.

Risonanze nucleari. Fusione e fissione nucleare. Cattura neutronica. Reazioni a catena. Reattore nucleare. Schema di funzionamento di una centrale nucleare.

Esercizi su radioattività.

Interazione radiazione-materia [5,10]

Perdita di energia delle particelle cariche pesanti per collisioni con gli elettroni atomici: calcolo di Bohr, formula di Bethe-Bloch e suoi limiti, curva di Bragg, energy straggling, range, leggi di scala.

Perdita di energia di elettroni e positroni: perdita per collisioni, bremsstrahlung, energia critica, lunghezza di radiazione. Diffusione multipla coulombiana in approssimazione gaussiana.

Radiazione Cherenkov. Interazioni dei fotoni: effetto fotoelettrico, effetto Compton, produzione di coppie. Sciami elettromagnetici. Interazioni dei neutroni. Interazioni adroniche. Sciami adronici.

Attenuazione di un fascio di particelle neutre. Coefficiente di attenuazione lineare e massico, cammino libero medio.

Tecniche per la rivelazione di particelle [5,10]

Camere a bolle. Rivelatori a gas. Regimi dei rivelatori a gas. Multiwire proportional chamber. Time Projection Chamber. Rivelatori a GEM. Scintillatori e fotomoltiplicatori. Rivelatori a semiconduttore. Rivelatori Cherenkov. Calorimetri. Sistemi di tracciamento.

Misura del tempo di volo. Identificazione di particelle con il tempo di volo.

Misura di energia di una particella: calorimetri.

Misura del momento di una particella: spettrometri.

Rivelatori degli esperimenti ai collider. Detector a strati.

Misure dirette ed indirette dei raggi cosmici. Rivelatori per raggi cosmici: strumenti per misure dirette (calorimetri e spettrometri nello spazio e nella stratosfera), telescopi Cherenkov, Extensive Air-Shower array.

Acceleratori di particelle [2,6]

Tipi di acceleratore ed utilizzi. Acceleratore lineare. Moto di una particella carica relativistica in un campo magnetico. Acceleratori circolari: ciclotrone, sincrociclotrone, sincrotrone. Collisori. Energia nel CM: acceleratori vs. collisori. Luminosità dei collisori e negli esperimenti su targhetta fissa.

Fisica delle particelle [4,6,7,9,10]

Scoperta del muone, del positrone e del pione carico, delle V_0 nei raggi cosmici. Proprietà e interazioni delle particelle elementari: forze.

Classificazione delle particelle: adroni, mesoni, barioni, leptoni, quark.

Leggi di conservazione. Principi di invarianza nella rappresentazione di Heisenberg. Trasformazioni unitarie continue e discrete. Generatore di una trasformazione continua. Teorema di Noether.

Fermioni e bosoni.

Numeri quantici: fermionico, barionico, leptonico e loro conservazione.

Parità in meccanica quantistica. Parità delle funzioni armoniche sferiche. Parità intrinseca di una particella. Parità di fermioni e bosoni. Parità di un sistema di particelle. Misura della parità del pione. Parità dei mesoni.

Verifica della conservazione della parità nelle reazioni nucleari (esperimento di Tanner).

Isospin. Principio di Pauli esteso. Conservazione dell'isospin. Isospin dei nuclei. Multipletti di isospin.

Simmetria di isospin. Rapporti fra sezioni d'urto nella diffusione pione-nucleone.

Le risonanze adroniche. Diffusione inelastica elettrone-nucleone.

Coniugazione di carica. C-parità dei pioni.

Violazione di parità nei decadimenti deboli. Esperimento di M.me Wu.

Elicità dei neutrini. Misura dell'elicità (esperimento di Goldhaber)

Violazione di parità e C-parità nei decadimenti di muone e pione.

Inversione temporale. Crossing di reazioni e principio del bilancio dettagliato. Teorema CPT.

Scoperta delle particelle strane. Numeri quantici: stranezza e ipercarica.

Violazione della stranezza nelle interazioni deboli. Particelle strane: mesoni e iperoni.

Gruppi SU(n). SU(2) e isospin.

Relazione di Gell-Mann Nishijima. The Eightfold Way. SU(3) di sapore e sua rappresentazione. Il modello a quark. Ottetto dei mesoni pseudoscalari e vettori. Ottetto e decupletto barionico.

Carica di colore. Produzione di leptoni e adroni in collisioni e^+e^- . Fattore R e sua misura.

Adronizzazione e jet.

I costituenti della materia elementari nel Modello Standard: quark e leptoni. I bosoni di Gauge.

Ipotesi del neutrino di Pauli. Teoria elementare del decadimento β . Grafico di Fermi-Kurie e misura diretta della massa del neutrino. La costante di accoppiamento di Fermi. Rivelazione dei neutrini prodotti da reattori nucleari. Esperimento di Reines-Cowan. Fasci di neutrini prodotti da acceleratore.

Scoperta del neutrino muonico. Rivelazione dei neutrini solari. Esperimento di Homestake. Deficit dei neutrini solari. Cenni all'oscillazione dei neutrino. Decadimento doppio β . Osservatori di neutrini.