



Università degli Studi della Basilicata

DIPARTIMENTO DI MATEMATICA, INFORMATICA ED ECONOMIA

---

---

ANNO ACCADEMICO: 2019 / 2020

---

INSEGNAMENTO: Fisica Teorica

---

TIPOLOGIA DI ATTIVITÀ FORMATIVA: Caratterizzante

---

DOCENTE: D. Coccolicchio

---

e-mail:

sito web:

telefono:

cell. di servizio (facoltativo):

---

Lingua di insegnamento: Italiano

---

n. CFU: 6	n. ore: 48	<b>Sede:</b> Potenza DIPARTIMENTO DI MATEMATICA, INFORMATICA ED ECONOMIA Corso di Laurea Magistrale in Matematica	Semestre: II
-----------	------------	---	--------------

---

#### OBIETTIVI FORMATIVI E RISULTATI DI APPRENDIMENTO

Il corso si occupa dei principali aspetti delle teorie quanto-relativistiche con numerose applicazioni sia di interesse generale sia legate a temi di ricerca attuali.

---

#### PREREQUISITI

Il corso è concepito per gli studenti dei corsi di laurea magistrale in Matematica, e presuppone la propedeuticità dell'insegnamento di Fisica moderna.

---

#### CONTENUTI DEL CORSO

##### **Dalla meccanica analitica alla teoria dei campi.**

Le equazioni del moto. Coordinate ignorabili e funzione Lagrangiana. Cambiamento di sistemi di coordinate. Coordinate normali e modi normali. Metodi algebrici: la fisica degli oscillatori. Metodi variazionali per sistemi ad un numero finito di gradi di libertà: le equazioni di Euler-Lagrange. Formula generale per la variazione dell'azione. Trattazione Hamiltoniana (trasformata di Legendre). Principio di minima azione ed equazioni di Hamilton-Jacobi. Trasformazioni canoniche e funzioni generatrici. Parentesi di Poisson. Simmetrie e leggi di conservazione: il teorema di Noether. Costanti del moto e loro relazioni con le proprietà di simmetria della Hamiltoniana: invarianza per traslazione e per rotazione. Sistemi ad un numero infinito di gradi di libertà: transizione da un sistema discreto ad un sistema monodimensionale continuo. Generalizzazione ad un continuo tridimensionale: formulazione Lagrangiana ed Hamiltoniana dell'elettromagnetismo. Equazioni dell'elettromagnetismo derivate dal principio variazionale. Invarianza relativistica e formulazione covariante delle equazioni di Maxwell. Tensore energia-impulso, e sua conservazione. L'invarianza di gauge e la conservazione della carica elettrica. Elettrodinamica come teoria relativistica di campo. Il teorema di Helmholtz e la decomposizione longitudinale e trasversa dei campi. La polarizzazione delle onde elettromagnetiche. Decomposizione del campo e.m. in modi normali (trasformata di Fourier). Le analogie tra l'oscillatore armonico ed il campo di radiazione.

##### **Meccanica quantistica non relativistica**

Equazione di Hamilton-Jacobi e confronto con l'equazione di Schrödinger. La formulazione canonica della Meccanica Quantistica. Funzione d'onda, processi di misura, osservabili ed operatori nello spazio di Hilbert degli stati di un sistema quantistico. Espansione in autofunzioni: la decomposizione spettrale degli operatori in spazi di Hilbert. Approssimazione semiclassica, correzioni quantistiche e sviluppi perturbativi. La teoria della matrice di scattering. Parentesi di commutazione, costanti del moto e proprietà di invarianza. L'oscillatore armonico, costruzione degli stati con gli operatori di creazione e distruzione. Lo spazio di Fock.

Formulazione funzionale di Feynmann per mezzo di integrali sui cammini. Rappresentazione dell'ampiezza di probabilità come integrale sui cammini. Ordinamento simmetrico. Derivazione funzionale. Funzioni di correlazione e funzionale generatrice. Formulazione euclidea degli integrali sui cammini. Oscillatore armonico forzato in formulazione euclidea.

L'equazione di Schrödinger per una particella carica in un campo elettromagnetico. L'ipotesi dello spin. L'equazione di Pauli. Aspetti topologici: l'effetto Aharonov-Bohm. L'interpretazione semiclassica del Lamb "shift". Accoppiamenti spin-orbita, struttura fine ed iperfine. Regole di selezione nell'approssimazione di dipolo. Teoria generale del momento angolare, gruppo delle rotazioni, rappresentazioni vettoriali e spinoriali.

---



---

### Applicazioni fisiche della teoria dei gruppi

Trasformazioni lineari e algebra delle matrici. Matrici coniugate, normali, hermitiane, unitarie. Composizioni di trasformazioni lineari e prodotto di matrici. Operatori lineari equivalenti. Autovalori ed autovettori. Polinomio caratteristico. Spettro. Operatori normali. Proiezioni ortogonali. Operatori unitari. Isometrie. Teoria dei gruppi. Gruppi astratti. Gruppi discreti: il gruppo delle permutazioni. Sottogruppi. Esempi di gruppi di simmetria. Classi, sottogruppi invarianti, gruppo quoziente. Rappresentazioni di un gruppo. Invarianza e commutazione: lemma di Schur. Gruppi continui di Lie: generalità ed esempi. Rappresentazioni equivalenti, irriducibili, unitarie. Parametri canonici. Sottogruppi ad un parametro. Derivate ed esponenziali: teorema di decomposizione spettrale e forma esponenziale di una matrice. Operatori infinitesimali. Commutatori. Gruppi di matrici:  $O(n)$ ,  $U(n)$ ,  $SL(n)$ ,  $GL(n)$ ,  $SO(n)$ . Cambiamenti di base. Le rotazioni. Trasformazioni ortogonali. Le rotazioni attive e passive. I gruppi  $O(3)$  ed  $SO(3)$ . Teorema di Eulero. Gruppi compatti e connessi. Topologia di  $SO(3)$ . Il gruppo  $SU(2)$  come gruppo di ricoprimento universale del gruppo delle rotazioni  $O(3)$ . Descrizioni delle rappresentazioni irriducibili unitarie di  $SU(2)$ : connessione con la teoria del momento angolare. Gruppo di Lorentz e gruppo di Poincaré: rappresentazioni e classificazioni. Il gruppo  $SL(2, C)$  come gruppo di ricoprimento universale del gruppo di Lorentz ristretto e sue notevoli rappresentazioni irriducibili. La rappresentazione tetra-spinoriale del gruppo  $SL(2, C)$ .

### Trattazione relativistica delle particelle con spin

Teoria di Wigner delle simmetrie di un sistema quantistico. Nozione generale di sistema quantistico relativistico ed associate rappresentazioni unitarie irriducibili del gruppo di Poincaré. Particelle con spin. Formulazione delle equazioni d'onda relativistiche fondamentali di Klein-Gordon, Dirac, Pauli, Proca e Maxwell. Spin, sistemi di particelle identiche e meccanica statistica. Distribuzioni statistiche di Bose-Einstein e di Fermi-Dirac. Applicazioni.

### Meccanica quantistica relativistica

Radiazione da una carica relativistica in moto. Interazioni radiazione-materia. Moto di una particella relativistica in un campo esterno. Gli effetti dello spin. Il modello di Uhlenbeck-Goudsmith e la teoria di Pauli per lo spin dell'elettrone. La teoria spinoriale di Dirac. Schemi di riduzione non-relativistica. La trasformazione di Foldy-Wouthuysen e la teoria efficace. Interpretazioni delle soluzioni ad energia negativa. Il paradosso di Klein. L'effetto di zitterbewegung. L'equazione di Klein-Gordon per i livelli atomici.

### Cenni di teoria quantistica relativistica di campo

Seconda quantizzazione del campo elettromagnetico in forma covariante

- Relazioni di commutazione e propagatore di Feynman.
- Operatori di creazione e distruzione. Teoria di Gupta-Bleuler.
- Lo sviluppo perturbativo di Dyson per la matrice  $S$
- Espansione in stati "in" e stati "out": Teorema di Wick.

Correzioni quantistiche e sviluppo perturbativo per l'elettrodinamica quantistica (QED)

- Regole dei diagrammi di Feynman per la QED.
- Sezioni d'urto: produzione di coppie, Bhabha e Compton scattering.
- La rinormalizzazione di massa e carica per l'elettrone.
- Momento magnetico anomalo dell'elettrone.

---

### METODI DIDATTICI

Le lezioni sono integrate da un laboratorio di calcolo in cui alcuni argomenti sono approfonditi mediante programmi in MatLab, MATHEMATICA.

---

### MODALITÀ DI VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO

L'esame consiste in un colloquio sugli argomenti trattati nelle lezioni e nella discussione di una relazione di approfondimento assegnata allo studente.

---



---

TESTI DI RIFERIMENTO E DI APPROFONDIMENTO, MATERIALE DIDATTICO ON-LINE

Sebbene il corso sia in gran parte basato sulle dispense del docente, i seguenti manuali sono un valido complemento:

- G. Costa, G.L. Fogli, *Lorentz group and particles states*, in "Kinematics and symmetry", Text-book on Elementary Particle Physics, ed. M. Nikolic' (1979) Chap. V, pp. 58-165.
  - G. Costa, G.L. Fogli, *Internal symmetries*, in "Kinematics and symmetries", Text-book on Elementary Particle Physics, ed. M. Nikolic' (1979) Chap. VI, pp. 167-294.
  - G. Costa, G.L. Fogli, *Symmetries and Group Theory in Particle Physics. An Introduction to Space-time and Internal Symmetries*, Lecture Notes in Physics Volume 823 (Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2012)
  - L. Maiani, O. Benhar, *Relativistic Quantum Mechanics: An Introduction to Relativistic Quantum Fields*, (CRC, 2016)
  - M. Maggiore, *A modern Introduction to Quantum Field Theory*, (Oxford University Press, 2005)
  - R. D'Auria, M. Trigiante, *From Special Relativity to Feynman Diagrams*, (Springer 2012)
  - A. O. Barut, *"Electrodynamics and Classical Theory of Fields and Particles"* (Dover Publications, New York, 1980)
  - B. Thidé, *"Electromagnetic Field Theory"*, (Dover Publications, New York, 2010<sup>2Ed</sup>)
  - D. Griffiths, *"Introduction to Elementary Particles"* (Wiley, New York, 2008<sup>2Ed</sup>)
  - M. Srednicki, *Quantum Field Theory*, Cambridge University Press, 2007
  - M.D. Scadron, *"Advanced Quantum Theory"*, (Springer, Berlin, 1991<sup>2Ed</sup>)
  - J.D. Bjorken, S. Drell, *"Relativistic Quantum Mechanics"*, (McGraw-Hill, 1964)
  - J.D. Bjorken, S. Drell, *"Relativistic Quantum Fields"*, (McGraw-Hill, 1965)
  - P. Ramond, *"Field Theory: A modern Primer"* (Benjamin, 1981)
  - C. Itzykson, J.-B. Zuber, *"Quantum Field Theory"* (McGraw-Hill Book, 1980)
  - L. H. Ryder, *"Quantum Field Theory"* (Cambridge University Press, Cambridge, 1985)
  - M. Peskin, D. Schroeder, *"An Introduction to Quantum Field Theory"* (Perseus Books, 1995)
  - F. Mandl, G. Shaw, *"Quantum Field Theory"*, Revised edition (Wiley-Interscience, Chichester, 1993)
  - T-P. Cheng, L-F. Li, *"Gauge Theory of Elementary Particle Physics"* (Oxford Univ. Press, 1984)
  - L. D. Landau, E. M. Lifshitz, *"The Classical Theory of Fields"*, (Pergamon Press, New York, 1975<sup>4Ed</sup>)
  - M. Le Bellac, *"Quantum and Statistical Field Theory"* (Oxford U.P., Oxford, 1992).
  - S. Weinberg, *"Teoria quantistica dei campi", vol. I* (Zanichelli, 2000)
  - S. Weinberg, *"The quantum theory of fields", vol. II, III* (Cambridge Univ. Press, 1996, 2000)
  - W. Greiner, *"Theoretical Physics", vol. 3, 4, 5* (Springer-Verlag, 1992, 1993, 1998)
  - L. S. Brown, *"Quantum Field Theory"* (Cambridge University Press, Cambridge, 1992)
  - B. S. DeWitt, *"Dynamical Theory of Groups and Fields"* (Gordon and Breach, New York, 1965)
  - J. Collins, *"Renormalization"* (Cambridge U.P., Cambridge, 1984)
  - R. Gilmore, *Lie groups, Lie algebra, and some of their applications*, (Wiley Interscience, 1974)
  - B. DeWitt, *Relativity, Groups and Topology* (Les Houches 1963), Gordon and Breach (1964)
  - S. Sternberg, *Group Theory and Physics*, (Cambridge University Press, 1999).
  - M. Hamermesh, *Group Theory and its Application to Physical Problems* (Dover, 1989)
  - J. F. Cornwell, *Group Theory in Physics. Vol. 1 & Vol. 2*, (Academic, 1984)
  - H. Georgi, *Lie Algebras in Particle Physics. From Isospin to Unified Theories*, (Frontiers of Physics, 1982)
  - A. O. Barut and R. Raczka, *Theory of Group Representations and Applications*, (Polish Scientific Publishers, 1977).
-



**Università degli Studi della Basilicata**

**DIPARTIMENTO DI MATEMATICA, INFORMATICA ED ECONOMIA**

---

---

METODI E MODALITÀ DI GESTIONE DEI RAPPORTI CON GLI STUDENTI

*A ragione del numero selezionato di specializzandi, il corso prevede un tutoring personalizzato permanente. Il docente è sempre disponibile a ricevere gli studenti su appuntamento.*

---

---

DATE DI ESAME PREVISTE<sup>1</sup>

Mese	Anno	Giorno
Marzo	2020	11
Giugno	2020	17
Luglio	2020	15
Settembre	2020	16
Ottobre	2020	21
Novembre	2020	25
Dicembre	2020	9

---

---

SEMINARI DI ESPERTI ESTERNI    SI     NO

---

---

ALTRE INFORMAZIONI

---

---

<sup>1</sup> Potrebbero subire variazioni: consultare la pagina web del docente per eventuali aggiornamenti