UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

COURSE SYLLABUS

Relativity

2122-3-E3001Q073

Obiettivi

Studio approfondito della relatività ristretta di Einstein, delle sue conseguenze, dei suoi apparenti paradossi. Formulazione covariante delle leggi della dinamica e dell'elettromagnetismo (equazioni di Maxwell). Formalismo Lagrangiano e introduzione alla teoria classica dei campi, prerequisito fondamentale per la teoria quantistica dei campi.

Contenuti sintetici

La relatività ristretta di Einstein. Formulazione covariante della dinamica relativistica e dell'elettrodinamica classica. Formalismo lagrangiano relativisticamente invariante. Teoria classica dei campi: campi scalari e vettoriali.

Programma esteso

1. **Introduzione alle trasformazioni di Lorentz, cinematica relativistica. Tetra-vettori e tensori.**
   Refs. [Taylor, Jackson, Weinberg]
   - Richiami delle basi della relatività ristretta. Sistemi inerziali, conseguenze dell'invarianza della velocità della luce. Trasformazioni di Lorentz. Conseguenze delle trasformazioni di Lorentz e loro verifiche sperimentali. Discussione dei "paradossi" più famosi. Composizione relativistica delle velocità, aberrazione della luce, effetto Doppler relativistico.
   - Equazioni di Maxwell, potenziali vettore e scalare, invarianza di gauge. Notazione compatta per grandezze vettoriali e derivate in tre dimensioni.
   - Il gruppo di Lorentz e i suoi generatori, algebra del gruppo di Lorentz. Classificazione delle trasformazioni di Lorentz e loro proprietà generali. Tetra-vettori e tensori covarianti e controvarianti. Invarianti relativistici. Il tensore metrico.
   - Tetra-velocità, tetra-accelerzione e tetra-momento. La relazione di Einstein tra energia e massa. Conservazione dei tetra-momenti per arbitrari processi di urto.

- Composizione di boost di Lorentz in direzioni non parallele. La precessione di Thomas.

2. **Dinamica di una particella ed equazioni di Maxwell in forma covariante.**
   Refs. [Jackson, Weinberg, Landau, Feynman]
   - Dinamica di una particella in moto relativistico.
   - Equazioni di Maxwell in forma covariante, trasformazioni di gauge, correnti conservate. Il tensore $F_{??}$. Leggi di trasformazione dei campi elettrici e magnetici tra sistemi inerziali.
   - Interazione di campi elettromagnetici con cariche, forza di Lorentz, studio di moti di particelle cariche in campi elettrici e magnetici costanti e uniformi.
   - Moto di una particella carica con spin in un campo elettromagnetico. Equazione di Bargmann-Michel-Telegdi. Interazione "spin-orbit" di un elettrone in un campo centrale.

3. **Formulazione Lagrangiana. Campi scalari e vettoriali classici. Tensore energia-impulso.**
   Refs. [Jackson, Landau]
   - Principio di minima azione e formulazione Lagrangiana delle equazioni del moto relativistiche.
   - Teoria classica dei campi. Campi scalari ed equazione di Klein-Gordon per campi reali e complessi. Campi vettoriali: la Lagrangiana dell'elettrodinamica in interazione con correnti.
   - Il tensore energia-impulso per campi elettromagnetici liberi ed in interazione. Il teorema di Noether.

Prerequisiti

Meccanica classica, elettrodinamica classica, analisi matematica (integrali, equazioni differenziali, delta di Dirac).

Modalità didattica

Lezioni frontali.

Materiale didattico

1. *Spacetime Physics*, E.F. Taylor e J.A. Wheeler
   Prima edizione alla pagina web: https://virgilio.mib.infn.it/~oleari

2. *Classical Electrodynamics* , J.D. Jackson
   Capitolo 11: Special Theory of Relativity
   Capitolo 12: Dynamics of Relativistic Particles and Electromagnetic Fields

3. *Gravitation and Cosmology* , S. Weinberg
   Capitolo 2: Special Relativity

4. *The Classical Theory of Fields (Volume 2)* , L.D. Landau e E.M. Lifshitz

Capitoli dall'1 al 4.

5. *The Feynman Lectures on Physics* , R.D. Feynman, R.B. Leighton, M. Sands
   Capitoli 25 e 26.

6. *Relativity* , W. Rindler

Periodo di erogazione dell'insegnamento

Primo semestre

Modalità di verifica del profitto e valutazione

L'esame consiste in una prova scritta e una prova orale. La valutazione è espressa con un voto in trentesimi. Solo chi raggiunge la sufficienza allo scritto è ammesso all'orale. L'orale segue di qualche giorno la prova scritta.

- **Prova scritta**
  La prova scritta consiste nella risoluzione di problemi inerenti agli argomenti del corso.
  Si valuta in tal modo la reale comprensione degli argomenti trattati e la capacità di applicare le conoscenze apprese.
  Si invitano caldamente gli studenti ad affrontare le prove scritte date fino ad oggi, prima di presentarsi all'esame.
  Il docente è sempre disponibile ad eventuali chiarimenti e suggerimenti per la loro risoluzione.

- **Prova orale**
  Durante la prova orale si valutano le capacità espositive e le conoscenze degli argomenti trattati nel corso.
  Ogni studente ha facoltà di portare all'orale un argomento a propria scelta, col quale iniziare la discussione.
  Da qui si procederà poi a sondare le conoscenze anche su tutte le altre parti del corso.

Nel corso dell'anno sono previsti almeno cinque appelli d'esame, tipicamente nei seguenti periodi: gennaio, febbraio, giugno, luglio, settembre, ottobre.

Orario di ricevimento

Previo appuntamento via email col docente.