UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

COURSE SYLLABUS

Relativity

2526-3-E3001Q073

Obiettivi

Contenuto:

- Studio approfondito della relatività ristretta di Einstein e discussione di alcune applicazioni notevoli.
- Formulazione covariante delle leggi della dinamica relativistiche e dell'elettromagnetismo (equazioni di Maxwell).
- Formalismo Lagrangiano e introduzione alla teoria classica dei campi, prerequisito fondamentale per la teoria quantistica dei campi.

Schematicamente gli obiettivi si possono suddividere in 5 categorie:

- Conoscenza e capacità di comprensione: lo studente apprendera' le nozioni di base della relativita' speciale formulata in modo covariante (invariante "a vista") e sapra' connettere tale formulazione con quanto gia' appreso in corsi precedenti. Inoltre, acquisira' conoscenze di base della teoria dei campi classica.
- Conoscenza e capacità di comprensione applicate: lo studente dovrà essere in grado di utilizzare il formalismo tensoriale per affrontare semplici calcoli o manipolazioni nell'ambito della cinematica relativistica, dell'elettrodinamica classica e della teoria dei campi classica.
- Autonomia di giudizio: lo studente svilupperà capacità critiche e di giudizio nel saper scegliere tra gli strumenti forniti a lezione quello più appropriato per la soluzione di un determinato problema specifico.
- Abilità comunicative: lo studente dovrà acquisire un linguaggio scientifico corretto e appropriato alle tematiche svolte nel corso.
- Capacità di apprendere: lo studente sarà in grado di approfondire concetti specifici, non presentati durante il corso, e di proseguire in modo autonomo nello studio avanzato su testi scientifici specializzati.

Piu' specificamente, al termine del corso, lo studente

1. sarà in grado di utilizzare l'apparato matematico alla base della formulazioni "covariante" della relativita' speciale (4-vettori, tensori), sia per la discussione teorica dei concetti fondamentali, sia per la risoluzione di problemi di cinematica e di elettromagnetismo

2. sara' in grado di connettere la formulazione non covariante dell'elettrodinamica con quella covariante
3. sapra' ricavare le equazioni del moto per una particella o per un campo (scalare o vettoriale) a partire dall'azione e discutere contenuto e leggi di conservazione del tensore energia-impulso

Contenuti sintetici

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

Introduzione alle trasformazioni di Lorentz. Cinematica relativistica. Formulazione covariante della relativita' (tetra-vettori e tensori). Gruppo di Lorentz.
Refs: Barone, Jackson (Weinberg).

- Brevi richiami di Meccanica Classica ed Elettromagnetismo (EM) (principio di relativita', trasformazioni di Galilei, eq. di Maxwell, eq. delle onde). Non invarianza dell'EM per trasformazioni di Galilei, ipotesi dell'etere, esperimento di Michelson-Morley.
- Basi della relatività ristretta: sistemi inerziali, sincronizzazione orologi, postulati, eventi e intervallo tra eventi. Invarianza della velocità della luce e Trasformazioni di Lorentz.
- Conseguenze delle trasformazioni di Lorentz: dilatazione tempi, contrazione lunghezze, tempo proprio. Diagrammi di Minkowski. Simultaneita', causalita'. Composizione relativistica delle velocità. Boost in direzione generica.
- Breve discussione dei "paradossi" più famosi e di applicazioni fisiche rilevanti.
- Notazione compatta (in componenti) per spazio Euclideo: vettori, operatori differenziali e identita' varie. Equazioni di Maxwell (per campi e per potenziali) in componenti.
- Relativita' ristretta in notazione covariante: spazio-tempo di Minkowski, metrica, calcolo tensoriale (vettori covarianti e controvarianti, tensori, tensore metrico, quantita' scalari, operatori differenziali).
- Covarianza (invarianza in forma) delle leggi fisiche e principio di relativita'.
- Gruppo di Lorentz: proprieta' generali, sottogruppi e classificazione delle trasformazioni di Lorentz omogenee. Generatori e algebra del gruppo di Lorentz ristretto.
- Cinematica relativistica in notazione covariante: tetra-velocita' e tetra-accelerazione, quadrivettore energia-impulso e sue proprieta'. Relazione di Einstein tra energia e massa, conservazione dei tetra-momenti per arbitrari processi di urto.
- Cinematica relativistica: esercizi e applicazioni.
- Composizione di boost di Lorentz in direzioni non parallele e precessione di Thomas.

Dinamica relativistica di una particella; equazioni di Maxwell in forma covariante.
Refs: Barone, Jackson (Weinberg, Landau)

- Dinamica di una particella in moto relativistico: quadriforza relativistica e legge fondamentale della dinamica.
- Equazioni di Maxwell in forma covariante: quadri-corrente, equazione di continuita', quadripotenziali, trasformazioni di gauge, il tensore F??. Leggi di trasformazione dei campi elettrici e magnetici tra sistemi inerziali. Invarianti del campo elettromagnetico.
- Forza di Lorentz in forma covariante. Interazione di campi elettromagnetici con cariche: 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.
- Interazione "spin-orbit" di un elettrone in un campo centrale.

- Equazione di Bargmann-Michel-Telegdi (+).
- Soluzione delle equazione delle onde in forma covariante (+). Radiazione da cariche in moto (+).

Formulazione Lagrangiana dell'elettrodinamica. Campi scalari e vettoriali classici. Tensore energia-impulso.
Refs: Barone, Jackson (Landau).

- Principio di minima azione e formulazione Lagrangiana delle equazioni del moto relativistiche per particella libera e per carica immersa in campo elettromagnetico.
- Teoria classica dei campi: introduzione e equazioni di Eulero Lagrange.
- Campi scalari ed equazione di Klein-Gordon.
- Tensore energia-impulso.
- Campi vettoriali: la Lagrangiana del campo elettromagnetico libero e in interazione.
- Il tensore energia-impulso per campi elettromagnetici liberi ed in interazione.
- Teorema di Noether (+).

(+) = argomenti avanzati (trattati solo se ci sara' tempo)

Prerequisiti

Meccanica classica, elettrodinamica classica, analisi matematica (integrali, equazioni differenziali, delta di Dirac).
(ossia il contenuto dei corsi di Fisica 1, Fisica 2, Meccanica Classica e Matematica per la Fisica)

Modalità didattica

Didattica erogativa in presenza (lezioni frontali alla lavagna)

Materiale didattico

Testi principali:
Relativita'. Principi e Applicazioni, V. Barone

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

Altri testi utili:
Gravitation and Cosmology, S. Weinberg
Chapter 2: Special Relativity

The Classical Theory of Fields (Volume 2), L.D. Landau e E.M. Lifshitz
Chapter 1 to 4.

Spacetime Physics, E.F. Taylor e J.A. Wheeler
Parti rilevanti disponibili alla pagina web del docente.

- Note varie, materiale complementare e temi d'esame degli anni passati sono disponibili alla pagina web https://virgilio.mib.infn.it/~re

Periodo di erogazione dell'insegnamento

Primo semestre.

Modalità di verifica del profitto e valutazione

L'esame consiste in una prova orale, con domande da parte del docente (non ci sara' piu' la possibilita' di cominciare il colloquio con un argomento a scelta).

Tale prova sondera' non solo la conoscenza di tutti gli argomenti discussi durante il corso, ma anche la capacita' di utilizzare il formalismo appropriato e la effettiva comprensione degli argomenti stessi. Tipicamente una domanda richiedera' la capacita' di eseguire veloci calcoli/manipolazioni/piccoli esercizi (semplici) non visti esplicitamente e specificamente a lezione, ma affrontabili alla luce delle spiegazioni e del formalismo discusso a lezione, cosi' come degli esempi discussi in classe.

Nel corso dell'anno sono previsti cinque appelli d'esame, nei seguenti periodi: gennaio, febbraio, giugno, luglio, settembre.
In sesto appello viene organizzato, in un periodo opportuno, per agevolare il sostenimento degli esami del terzo anno da parte degli studenti.

Il metodo valutativo di cui sopra si applichera' per gli studenti che sono registrati per il corso nell'anno accademico 2025-2026.
Chi e' registrato per il corso per anni precedenti (ossia studenti che non hanno ancora sostenuto l'esame) ha la facolta' di scegliere se essere valutato con nuova modalita' o come nell'anno accademico 2024-2025 e precedenti, ossia prova scritta seguita dopo qualche giorno da prova orale. In assenza di comunicazioni esplicite da parte di tali studenti verso il docente, sara' assunto che la modalita' d'esame sara' quella nuova (solo prova orale). Chi optasse per prova scritta + orale quindi DEVE INFORMARE il docente con qualche giorno di preavviso rispetto a data esame e verra' informato a tempo debito dell'aula dove si svolgera' la prova scritta.

Per studenti erasmus: se necessario, e' possibile sostenere l'esame orale in lingua inglese.

Orario di ricevimento

Previo appuntamento via email col docente.

Sustainable Development Goals

ISTRUZIONE DI QUALITÁ