UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

# COURSE SYLLABUS

# Relativity

**2324-3-E3001Q073**

## Obiettivi

- Studio approfondito della relatività ristretta di Einstein e discussione di alcune applicazioni notevoli.
- 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

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.
- Cenni alle verifiche sperimentali della relativita' ristretta, discussione dei "paradossi" più famosi e di applicazioni fisiche rilevanti: aberrazione della luce, effetto Doppler relativistico.
- 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. Equazione di Bargmann-Michel-Telegdi. Interazione "spin-orbit" di un elettrone in un campo centrale.
- 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).

## Modalità didattica

Lezioni frontali.

## 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 scritta e una prova orale.
Solo chi raggiunge la sufficienza allo scritto è ammesso all'orale. Di norma la prova orale segue di qualche giorno la prova scritta.

- Prova scritta: esercizi sugli argomenti discussi durante il corso. Alla pagina web del docente e' possibile trovare un'ampia selezione di temi d'esame degli anni passati.
- Prova orale: colloquio sugli argomenti svolti a lezione (con eventuale breve discussione della prova scritta). Ogni studente ha facoltà di portare all'orale un argomento a propria scelta, col quale iniziare la discussione. 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.

## Orario di ricevimento

Previo appuntamento via email col docente.

## Sustainable Development Goals

ISTRUZIONE DI QUALITÁ