

## COURSE SYLLABUS

### Relativity

2021-3-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-accelerazione 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  $F_{\mu\nu}$ . 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

Le lezioni saranno erogate in modalità asincrona.

## 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**

Nel periodo di emergenza Covid-19 le **lezioni** verranno **registerate** in aula, ma, purtroppo, in assenza di pubblico.

Le lezioni saranno disponibili su <https://elearning.unimib.it/>, alla pagina del corso.

**Ogni settimana**, dall'inizio alla fine del corso, avremo **un incontro in diretta**, durante il quale chi ha domande o questioni da pormi potrà farle. I dettagli del giorno, dell'ora e di quale strumento di videoconferenza verrà usato saranno annunciati, di volta in volta, nella pagina degli Avvisi.

## **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:

[carlo.oleari@mib.infn.it](mailto:carlo.oleari@mib.infn.it)

---