



Università degli Studi di Cagliari
Corso di Laurea Magistrale in Fisica - AA. 2023/2024
Elettrodinamica relativistica
Sommario del corso (Syllabus)

1 Informazioni generali

- 48 ore di lezione frontale
- Ricevimento student*: qualsiasi orario ma su appuntamento.
- E-mail: francesco.dettori@dsf.unica.it

Libri di testo del corso

Testi principali

- “Fisica Teorica II - Teoria dei Campi”, L.D. Landau, E.M. Lifshits, Editori Riuniti
- “Relatività”, V. Barone, Bollati boringhieri
- “Elettrodinamica Classica”, J. D. Jackson, Zanichelli

Testi di consultazione

- “Classical Charged Particles”, Rohrlich
- “Meccanica Classica, H. Goldstein”. C. Poole, J. Safko
- “Introduction to electrodynamics” - Griffiths

2 Programma generale

Richiami di relatività ristretta:

- Principio di relatività; concetto di intervallo; tempo proprio
- Derivazione delle trasformazioni di Lorentz
- Trasformazione delle velocità.
- Quadri vettori
- Cenni alla fenomenologia di interesse

Richiami alla formulazione covariante della dinamica relativistica

- Quadrimomento ed equazioni del moto

Meccanica analitica covariante

- Formalismo lagrangiano e principio di minima azione

Elettromagnetismo classico e relatività

- Le equazioni di Maxwell
- Campo magnetico come fenomeno relativistico
- Quadripotenziale del campo
- Equazioni del moto di una carica in un campo elettromagnetico
- Invarianza di gauge
- Esempi di risoluzione delle equazioni del moto
- Trasformazioni e invarianti del campo

Formulazione covariante dell'elettrodinamica

- Equazioni di Maxwell omogenee
- L'azione per il campo elettromagnetico
- Quadridensità di corrente, equazione di continuità e conservazione della carica
- Equazioni di Maxwell non omogenee
- Tensore energia-impulso
- Onde elettromagnetiche
- Campi generati da una carica in moto uniforme
- I potenziali ritardati
- Lagrangiana di Darwin

Teoria relativistica (classica) dei campi

- Lagrangiana e azione di un campo
- Simmetrie in teoria dei campi (teorema di Noether)
- Invarianza di gauge (globale)

Radiazione elettromagnetica

- Campo di un sistema di cariche a grande distanza e radiazione di dipolo
- Radiazione emessa da una carica relativistica: accelerazione lineare e circolare; distribuzione angolare della radiazione
- Radiazione di sincrotrone: distribuzione e spettro (caratteristiche qualitative)
- Radiazione di frenamento
- Reazione di radiazione

Cenni alla causalità nella teoria classica.

3 Programma dettagliato

Lezione 1 Presentazione corso. Richiami della relatività ristretta. Principio di relatività; concetto di intervallo; tempo proprio. Derivazione delle trasformazioni di Lorentz da considerazioni geometriche. *Fonti: Susskind, Landau*

Lezione 2 Richiami sulla connessioni causali tra eventi. Trasformazioni di velocità. Aberrazione stellare. Introduzione alla covarianza delle leggi fisiche. Richiami su: 4-vettori, tensori. *Fonti: Landau, Barone*

Lezione 3 Quadrivelocità e quadri accelerazione. Integrazione e derivazione nello spazio di Minkowski. Introduzione alla meccanica analitica relativistica. *Fonti: Landau, Barone*

Lezione 4 Meccanica analitica relativistica: lagrangiana di particella libera. Derivazione delle equazioni del moto. Definizioni di momento ed energia. *Fonti: Landau, Barone.* Richiamo sulle Equazioni di Maxwell. Unità di misura ed equazioni elettromagnetiche. *Fonti: Jackson*

Lezione 5 Non invarianza dell'elettromagnetismo classico per trasformazioni di Galileo *Fonti: Articolo Preti et al..*

Introduzione alla quadriforza. Campo magnetico come fenomeno relativistico: Spira in un campo magnetico (trattazione qualitativa). Forza tra una particella carica in moto e un filo percorso da corrente. *Fonti: Griffiths.*

Lezione 6 Conclusione di: forza tra una carica e un filo percorso da corrente. *Fonti: Griffiths*

Particelle elementari in meccanica relativistica: introduzione. Azione di interazione tra cariche e quadri-potenziale elettromagnetico. Lagrangiana e Hamiltoniana del sistema. Derivazione della forza di Lorentz dalle equazioni di Eulero-Lagrange. *Fonti: Landau.*

Lezione 7 Variazione dell'energia di una carica in un campo elettromagnetico. Invarianza di Gauge (derivazione non covariante). Generalità sul moto di una carica in un campo elettromagnetico costante. Moto di una carica in un campo elettrico uniforme e costante. *Fonti: Landau.*

Lezione 8 Moto di una carica in un campo magnetico uniforme e costante. Derivazione delle equazioni del moto di una carica in un campo elettromagnetico in forma covariante. Tensore campo elettromagnetico. Invarianza di Gauge (derivazione covariante). Trasformazioni dei campo elettrico e magnetico. *Fonti: Landau.*

Lezione 9 Trasformazioni dei campo elettrico e magnetico. Invarianti del campo elettromagnetico. Derivazione delle equazioni di Maxwell omogenee dall'identità di Bianchi. Introduzione alla teoria dei campi classica relativistica: lagrangiana di un sistema continuo. *Fonti: Barone, Goldstein.*

Lezione 10 Teoria dei campi: derivazione equazioni di Eulero-Lagrange per un campo in una dimensione. Derivazione equazioni di Eulero-Lagrange per N campi nello spazio di Minkowski. *Fonti: Goldstein*

Invarianti del campo elettromagnetico. Azione del campo elettromagnetico. Definizione della quadricorrente ed equazione di continuità. *Fonti: Barone, Landau.*

Lezione 11 Derivazione equazioni di Maxwell dalla Lagrangiana del campo elettromagnetico. Relazione tra conservazione della carica ed invarianza di gauge. *Fonti: Barone, Landau.*

Lagrangiana di Proca e derivazione del potenziale di Yukawa. *Fonti: Jackson.*

Lezione 12 Densità e flusso di energia del campo elettromagnetico. Soluzioni del campo elettromagnetico costante. Campo da carica puntiforme. Energia elettrostatica di un sistema di cariche. Campi generati da una carica in moto uniforme. *Fonti: Landau, Barone.*

Lezione 13 Campi generati da una carica in moto arbitrario. Derivazione dei potenziali di Lienard-Wiechert. *Fonti: Landau, Barone.*

Lezione 14 Radiazione elettromagnetica: discussione dei campi ritardati. Potenza irradiata da una carica. Formula di Larmor. Caso degli acceleratori lineari e degli acceleratori circolari. *Fonti: Jackson.*

Lezione 15 Onde elettromagnetiche: trattazione nello spazio tridimensionale e di Minkowski. *Fonti: Barone.* Risoluzione esempi: trasformazioni di Lorentz e Galileo per le onde, campo puramente magnetico o elettrico.

Lezione 16 Risoluzione esempi: carica in campo magnetico e elettrico uniformi ed ortogonali. Velocità di deriva. Effetto Aharonov-Bohm. Distribuzione angolare della radiazione emessa da una carica accelerata: caso generale e caso accelerazione parallela alla velocità. *Fonti: Jackson.*

Lezione 17 Distribuzione angolare radiazione di sincrotrone (moto istantaneo circolare). Comparazione potenza emessa nel caso di moto lineare e circolare a parità di forza. Radiazione particella ultrarelativistica: trattazione qualitativa. *Fonti: Jackson, Jarrel.*

Lezione 18 Distribuzione in frequenza della radiazione emessa da particelle accelerate: caso generale e caso di moto circolare istantaneo (sincrotrone). Radiazione di frenamento (bremsstrahlung): caso di basse frequenze ($1/2$). *Fonti: Jackson, Jarrel.*

Lezione 19 Radiazione di frenamento (bremsstrahlung): caso di basse frequenze ($2/2$). Radiazione di frenamento emessa durante la creazione di una particella (inner bremsstrahlung). Perdita di energia di particelle cariche per scattering ($1/2$). *Fonti: Jackson, Barone.*

Lezione 20 Perdita di energia di particelle cariche per scattering ($2/2$). Formula di Bethe. *Fonti: Jackson, Jarrel.* Interazione Coulombiana: problema di Keplero nella relatività ristretta. Precessione del perielio. *Fonti: Barone.*

Lezione 21 Radiazione di un dipolo. Radiazione dovuta ad interazione coulombiana. *Fonti: Landau.* Interazione di più particelle: lagrangiana di Darwin. *Fonti: Landau, Barone.*

Lezione 22 Frenamento per emissione di radiazione o reazione di radiazione (non relativistica). Equazione di Abraham-Lorentz. Soluzione autoaccelerata. Reazione di radiazione relativistica. *Fonti: Landau.* Equazioni del moto con forza di Abraham. *Fonti: Barut.*

Lezione 23 Località e causalità in elettrodinamica. Equazioni del moto relativistiche con tutti i termini e loro significato fisico. *Fonti: Rohrlich.*

Lezione 24 Teorema di Noether: dimostrazione per un campo scalare. Cariche di Noether ed equazione di continuità. Invarianza per traslazioni spazio-temporali e tensore canonico. *Fonti: Barone, Goldstein.*