



# UNIVERSITÀ DI PISA

---

## FISICA 3

### GIOVANNI BATIGNANI

|                 |         |
|-----------------|---------|
| Anno accademico | 2020/21 |
| CdS             | FISICA  |
| Codice          | 248BB   |
| CFU             | 9       |

|          |           |         |     |   |
|----------|-----------|---------|-----|---|
| Moduli   | Settore/i | Tipo    | Ore | Docente/i                               |
| FISICA 3 | FIS/04    | LEZIONI | 72  | GIOVANNI BATIGNANI<br>DOMENICO LOGOTETA |

#### Obiettivi di apprendimento

##### *Conoscenze*

Riepilogo e completamento della formulazione classica dell'interazione elettromagnetica  
Metodi di indagine tramite processi di urto o tramite decadimenti spontanei; introduzione alle interazioni forti, alle interazioni deboli, alle strutture nucleari e sub-nucleari  
Interazione fra radiazione (fotoni, particelle cariche o neutre) e la materia stabile.

##### *Modalità di verifica delle conoscenze*

- Enunciare e spiegare gli argomenti trattati nelle lezioni ed esercitazioni
- Saper rispondere alle domande contenute nella "checklist" reperibile nella pagina web del corso
- Risolvere in modo autonomo problemi basati sulle conoscenze introdotte nel corso

##### *Capacità*

- Capacità di risolvere problemi impostando analisi sia qualitative che quantitative
- Capacità di spiegare gli argomenti oggetto del corso, illustrandoli con esempi ed applicazioni.

##### *Modalità di verifica delle capacità*

Nello svolgimento del corso le capacità sono verificate dal docente tramite domande, discussioni e verifica delle risoluzioni degli esercizi svolti nelle esercitazioni: tali verifiche non sono oggetto di valutazione del singolo studente e non hanno impatto sul voto finale, assegnato solo in base alle prove finali.

##### *Comportamenti*

E' richiesta (ma non indispensabile) una partecipazione il più possibile attiva degli studenti durante le lezioni ed in particolare di :

- ripassare i prerequisiti del corso prima di partecipare alle lezioni o esercitazioni
- effettuare durante le esercitazioni in forma scritta una serie di esercizi i cui passi sono indicati dal docente in modo dettagliato

##### *Modalità di verifica dei comportamenti*

Interazione del docente con la classe, tramite domande, discussioni e verifica delle risoluzioni degli esercizi svolti durante le esercitazioni. Tali verifiche non sono oggetto di valutazione e non hanno impatto sul giudizio finale del singolo studente.

##### *Prerequisiti (conoscenze iniziali)*

Meccanica non relativistica svolta nel corso di "Fisica 1".  
Relatività ristretta svolta nel corso di "Meccanica classica".  
Elettromagnetismo classico svolto nel corso di "Fisica 2".  
Conversione delle formule e dei valori numerici delle grandezze fisiche da unità di misura MKSA a CGS e "natural".



## UNIVERSITÀ DI PISA

Programma (contenuti dell'insegnamento)

### Riepilogo e completamento della formulazione classica dell'interazione elettromagnetica

Formulazione covariante dell'elettromagnetismo: invarianza di Lorentz della carica, quadricorrente e quadripotenziale, riscrittura covariante delle equazioni di Maxwell non omogenee. Definizione del tensore di campo e del suo duale. Invarianza di gauge, legge di trasformazione relativistica dei campi elettrico e magnetico, invarianti relativistici del campo elettromagnetico.

Riscrittura covariante delle equazioni del moto per una particella puntiforme carica e per una distribuzione di cariche e correnti. Tensore energia-impulso e conservazione di energia e impulso per un sistema di cariche e correnti. Il campo generato da una particella in moto rettilineo uniforme e le sue caratteristiche.

I potenziali ritardati (senza dimostrazione) e i potenziali generati da una carica puntiforme in moto arbitrario (potenziali di Lienard-Wiechert). Riscrittura covariante, dipendenza del tempo proprio ritardato dalla posizione e calcolo del tensore di campo. Forma finale dei campi con componente vicina e di radiazione.

Potenza irraggiata. Richiami alla potenza irraggiata da dipoli elettrici, quadrupoli elettrici e momenti magnetici. Radiazione emessa in un acceleratore lineare e circolare, radiazioni di sincrotrone e sue proprietà.

Reazione di radiazione nel caso relativistico, cenno al problema della rinormalizzazione della massa.

Diffrazione della luce come problema di scattering. Diffrazione da una apertura su lastra opaca, principio di Babinet e di Huygens, limite di Fraunhofer e fattore di forma di una apertura, limite di ottica geometrica. Diffrazione da un ostacolo: calcolo del campo totale nel limite di Fraunhofer.

### Metodi di indagine tramite processi di urto o tramite decadimenti spontanei; introduzione alle interazioni forti, alle interazioni deboli, alle strutture nucleari e sub-nucleari

Ampiezza di scattering per fenomeni ondulatori, sezione d'urto elastica, inelastica e di estinzione (totale), il limite di ottica geometrica e cenni al problema dell'ombra. Il teorema ottico. Esempi: sezioni d'urto di onde elettromagnetiche su cariche elettriche, circuiti elettrici, antenne. Onda elettromagnetica su una spirale e metodo di calcolo della resistenza equivalente di irraggiamento. Solido di radiazione e concetto di direzionalità per una antenna, il teorema di reciprocità.

Larghezza di riga, La diffusione risonante: larghezza elastica e inelastica, larghezza totale. Formula di Breit-Wigner, sezione d'urto Thomson, approssimazione Lorenziana. Relazione fra la larghezza di una risonanza e la sua vita media. Rapporto di decadimento di uno stato risonante in uno stato finale elastico o inelastico.

Sezione d'urto per fenomeni corpuscolari. Esempi di processi di urto in fisica atomica, nucleare e subnucleare. Reazioni inclusive ed esclusive. Processi elastici ed anelastici, esotermici o endotermici, Q-valore di una reazione, Energia di soglia di una reazione. Leggi di conservazione, il numero barionico ed i numeri leptonici. Espressione della sezione d'urto in differenti situazioni sperimentali.

Spazio delle fasi. Funzioni di distribuzione nello stato finale di una reazione e loro trasformazioni relativistiche. Decadimenti a tre corpi ed il Dalitz plot; esempio: il decadimento del muone. Metodi della massa invariante e della massa mancante per la identificazione di particelle.

Fattori di forma per urti elastici fra due particelle, ruolo del quadrimpulso trasferito e variabili di Mandelstam. Esempi: fattore di forma elettromagnetico di atomi e di nuclei.

Presentazione di alcuni dati sperimentali delle sezioni d'urto fotone su atomo, protone-protone, elettrone-positrone e neutrino-nucleone in funzione dell'energia.

Lo scattering Rutherford: la deduzione di una nuova forza "forte" e la misura sperimentale dei raggi nucleari. Misura delle masse dei nuclei: l'energia di legame dei nuclei ed eccesso di massa.

Elementi di fisica nucleare. Definizione delle quantità  $A$ ,  $Z$ ,  $N$  per un nucleo. Il modello a goccia e la formula semi-empirica di massa.

Discussione delle parabole di massa per  $A$  pari ed  $A$  dispari.

Decadimenti spontanei: vita media e larghezza di decadimento, legge del decadimento esponenziale. I decadimenti alfa, beta, gamma dei nuclei. Necessità di introdurre una nuova interazione "debole". Il neutrino e l'antineutrino; casi particolari del decadimento beta del neutrone e del doppio beta nucleare. Fattore di Gamow nel decadimento alfa. Effetto Mossbauer nel decadimento gamma e l'esperimento di Pound e Rebka.

### Interazione fra radiazione (fotoni, particelle cariche o neutre) e la materia stabile.

Interazione dei fotoni con la materia: scattering Thomson e Rayleigh, effetti fotoelettrico e Compton, produzione di coppie elettrone-positrone. Dati sperimentali della sezione d'urto totale fotone-atomo di C o Pb in funzione dell'energia del fotone incidente. Discussione dei contributi Rayleigh, fotoelettrico, Compton e della creazione di coppie  $e^+e^-$ ; caratteristiche principali di ognuno di essi.

Effetto Cerenkov: generalità e spettro in frequenza dei fotoni emessi (formula di Frank-Tamm). Rivelatori Cherenkov a soglia, RICH, DIRC e loro utilizzo per la misura della velocità e della massa di una particella carica.

Radiazione di frenamento. Calcolo dell'energia irraggiata per unità di frequenza, sezione d'urto di irraggiamento. La radiazione di frenamento per un elettrone in moto relativistico: energia irraggiata, modellizzazione con schermaggio del nucleo da parte degli elettroni, numero medio di fotoni emessi per irraggiamento. Lunghezza di radiazione. Probabilità di conversione dei fotoni prodotti in coppie elettrone-positrone. e cenno agli sciami elettromagnetici.

Perdita di energia per collisioni, formule di Bohr e di Bethe-Bloch. Minimo di ionizzazione e risalita relativista. Esempi di dati sperimentali.

Esempio di rivelatori al silicio e di rivelatori gassosi. Identificazione di particelle tramite la misura della perdita di energia per collisioni. Percorso residuo e metodo di calcolo a partire dalla funzione di Bethe-Bloch. Il picco di Bragg.

Scattering multiplo coulombiano per cariche in moto veloce nella materia. Funzioni di distribuzione dell'angolo di deflessione rispetto alla direzione della particella incidente oppure per la sua proiezione su un piano. Calcolo della dispersione angolare nell'approssimazione di piccoli angoli.

Applicazioni a particelle cariche di alta energia che attraversano materiali di tipo diverso, energia rilasciata e concetto di "dose".

Esempi conclusivi: la scoperta del positrone, la scoperta dell'antiprotone con lettura dell'articolo originale di Segrè.

### Bibliografia e materiale didattico



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

Materiale sul sito e-learning del dipartimento di Fisica

<https://elearning.df.unipi.it/course/view.php?id=219>

con particolare riferimento alle dispense di C.Bonati ( ed agli appunti di G.Batignani.

Testi alternativi o per eventuali approfondimenti

- D. Jackson, "ClassicalElectrodynamics" (3<sup>a</sup> Ediz.) John Wiley & Sons 2009.
- S.Krane, "IntroductoryNuclearPhysics", John Wiley & Sons, New York

### Indicazioni per non frequentanti

Si consiglia di :

- studiare gli appunti di C.Bonati e G.Batignani (vedi "materiale didattico");
- rispondere alle domande contenute nella "checkilist" reperibile nella pagina web del corso.

### Modalità d'esame

ATTENZIONE Per gli esami in modalità telematica gli studenti dovranno caricare sul sito e-learning del corso

<https://elearning.df.unipi.it/course/view.php?id=219>

le risposte alle 3 domande del gruppo "C" (vedi sotto) entro il termine indicato nel sito "esami".

Solo prova orale; gli studenti che intendono sostenere l'esame devono iscriversi via web nel sito <https://esami.unipi.it/esami/> . Attenzione non solo alla precedenza - sostanziale ed anche formale - di FISICA II, ma anche alla necessità di avere le competenze di relatività speciale studiate nel corso di 'Meccanica Classica'.

In sede di esame finale (solo prova orale ) si potrà chiedere allo studente di:

- rispondere a domande contenute nelle parti (a) e (b) della "checkilist" reperibile nella pagina web del corso;
- rispondere a una domanda fra 3 domande del gruppo (c) - da lui indicate - della "checkilist" reperibile nella pagina web del corso;
- enunciare e spiegare argomenti trattati nelle lezioni ed esercitazioni;
- risolvere problemi basati sugli argomenti oggetto del corso

### Pagina web del corso

<https://elearning.df.unipi.it/course/view.php?id=219>

### Altri riferimenti web

sul sito e-learning del dipartimento di Fisica

<https://elearning.df.unipi.it/course/view.php?id=219>

Ultimo aggiornamento 25/11/2020 14:03