



Acceleratori di Particelle - Programma

I Semestre A.A.2024/25

Informazioni sul docente

Docente

Alessandro Cianchi

Posta elettronica

Alessandro.cianchi@uniroma2.it

Ubicazione ufficio e orari

C010, su appuntamento

Obiettivi formativi

Conoscenze di base nel campo degli acceleratori di particelle, comprendenti sia le macchine per fisica delle alte energie che quelle per la produzione di radiazione, in particolare raggi X, e le applicazioni degli acceleratori ad ambiti di ricerca e terapia medica. Capacità di risolvere esercizi di media difficoltà in ciascuno degli argomenti elencati.

Materiale del corso

Materiale necessario

Il materiale necessario viene fornito dal docente.

Materiale facoltativo

Gli studenti sono invitati a consultare anche altre fonti. Quelle raccomandate in particolar modo sono:

- Proceedings delle scuole di acceleratori del CERN, reperibili nella terza colonna di questa pagina <https://cas.web.cern.ch/previous-schools>
- K. Wille "The Physics of Particle Accelerators: An Introduction", Oxford University Press, 2000

Programma dettagliato

Parte I: **Introduzione**. L'importanza degli acceleratori nella ricerca e nella società. Rigidità elettrica e magnetica. Differenza tra urti a bersaglio fisso e fasci collidenti. Principi di funzionamento degli acceleratori elettrostatici. Legge di Paschen. Acceleratore di Cockroft e Walton, acceleratore di Van der Graff. Acceleratori tandem. Limite degli acceleratori elettrostatici.

Parte II: **Acceleratori elettrodinamici**. Acceleratore di Wideroe, stabilità di fase. Differenza tra macchine lineari e circolari.

Parte III: **Macchine**. Il betatrone, stabilità dell'orbita, oscillazioni di betatrone. Principio del foccheggiamento debole e forte, differenze. Principi generali dei fondamentali tipi di acceleratori: ciclotroni, microtroni, sincrotroni, anelli di accumulazione. Corrente di picco e media. Acceleratori per applicazioni mediche.

Parte IV: **Moto nel piano trasverso**. Ottica lineare. Il dipolo, il quadrupolo e il solenoide. Moto di cariche in questi dispositivi. Equazioni del moto nel piano trasverso. Matrici di trasporto di semplici dispositivi magnetici, caratteristiche delle matrici di trasporto, determinante, traccia, stabilità del moto. Parametri di Twiss. Soluzione delle equazioni del moto. Spazio delle tracce e spazio delle fasi.



Teorema di Liouville. Definizione di emittanza geometrica e normalizzata. Smorzamento adiabatico delle oscillazioni di betatrone. Figure di merito: Brillanza e Luminosità di un acceleratore. Moto di particelle con momento differente da quello nominale. Errori dipolari e quadrupolari, il problema delle risonanze. Il cromatismo e sua correzione.

Parte V: **Fasci laminari ed equazione di involuppo**. Emittanza RMS. La carica spaziale. Il parametro di laminarità. Equazione di involuppo in presenza di carica spaziale. Proprietà slice. Moto dentro un solenoide, oscillazioni di emittanza. Compensazione di emittanza. Accelerazione.

Parte VI: **La radiazione**. Campo di una carica in moto a velocità relativistiche. Origine della emissione di radiazione di una carica accelerata. Potenziali di Lienard-Wiechert. Energia irraggiata da una carica in moto rettilineo e in moto circolare. Distribuzione in angolo e in frequenza della radiazione emessa. La radiazione di Sincrotrone. Frequenza critica. Ondulatori. Radiazione emessa da una carica in moto all'interno di un onduttore o di un Wiggler, distribuzione angolare, lunghezza d'onda emessa. Larghezza della linea spettrale.

Parte VII: **Radiazione coerente**. Definizione di coerenza spaziale e temporale e loro importanza. Brevi cenni sulla fisica del Laser, sistemi a tre e quattro livelli, coefficienti di Einstein. I laser di potenza. Stato dell'arte dei laser di potenza.

Parte VIII: **I Free electron lasers**. Equazioni del FEL nel regime di piccolo guadagno. Meccanismo di scambio dell'energia tra un campo e le cariche in moto. Analisi dello spazio fasi. Limiti della teoria a basso guadagno. Fenomeno del microbunching. Crescita esponenziale della radiazione. Saturazione. Equazione di Pellegrini. La Self-Amplified Spontaneous Emission (SASE). Lo Slippage. La lunghezza di cooperazione. Le differenza tra regime SASE e regime Seeding.

Parte IX: **Sorgenti di radiazione**. Le sorgenti di luce di I-IV generazione. Fotoiniettori che pilotano FEL. Cenni sulla compressione magnetica e a radiofrequenza. Acceleratori lineari che iniettano in anelli.

Parte X: **Strutture acceleranti**. La risonanza elettrica. Cavità risonanti. Fattore di merito Q. Fattore tempo di transito, equazione di Panosky. Differenza tra strutture superconduttrici e strutture calde. I limiti al campo accelerante, il breakdown. Il multipacting. Propagazione di una onda elettromagnetica in una guida d'onda liscia. Velocità di fase e di gruppo. Diagramma di Brillouin. Guida caricata con dischi. Strutture ad onda viaggiante e onda stazionaria. Sorgenti di potenza RF: i Klystron.

Parte XI: **Dinamica longitudinale**. Fase sincrona, guadagno di energia, equazione del moto longitudinale. Oscillazioni di Sincrotrone. Emittanza longitudinale. Momentum Compaction. Fase stabile. Significato di transizione. Bunch, bucket, accettazione fisica e dinamica. Smorzamento adiabatico delle oscillazioni di sincrotrone. Effetto dell'irraggiamento nello smorzamento delle oscillazioni di betatrone.

Parte XII: **Accelerazione al plasma**. Limiti degli acceleratori convenzionali. Definizione di plasma, schermo di Debye, frequenza di plasma. Equazioni per la teoria lineare: equazioni di Maxwell, di Eulero, di continuità. Campo longitudinale e radiale in regime lineare. Transformer ratio. Limiti del regime lineare. Il regime quasi non lineare e quello di bolla. Condizioni sulle dimensioni trasversali e longitudinali di un fascio di particelle in un acceleratore al plasma. Accelerazione beam driven e laser driven. Somiglianze e differenze. L'iniezione esterna. Le lenti al plasma.