UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

SYLLABUS DEL CORSO

Fisica dei Plasmi II

2122-1-F1701Q091

Obiettivi

Il corso si propone di introdurre gli studenti alla fisica dei plasmi e della fusione termonucleare

Contenuti sintetici

Introduzione alla fisica del plasma, moto delle cariche in campo magnetico, introduzione ai processi collisionali nel plasma, cenni alla teoria cinetica collisionale, generalità sul processo di fusione termonucleare nei tokamak, principi fisici di alcune tecniche diagnostiche nei tokamak.

Programma esteso

Capitolo 1: Introduzione alla fisica del plasma

Introduzione, generalità sui plasmi, parametri di plasma. Quasi neutralità, Lunghezza di Debye. Collisioni coulombiane nei plasmi. Sezione d'urto di Rutherford. Collisioni a grande e a piccolo angolo, confronto con la sezione d'urto per la collisione con neutri. Frequenze di collisione. Semplici fenomeni di trasporto collisionale nei plasmi: resistivita', diffusione ambipolare.

Capitolo 2: Moto delle particelle cariche in campi elettrici e magnetici

Formalismo delle derive per il moto delle particelle cariche in campi elettrici e magnetici. Invarianza del momento magnetico e applicazioni a geometria a specchio magnetico. Formalismo lagrangiano ed invarianti esatti del moto: invarianza per rotazione ed applicazione al confinamento in un tokamak. Invarianti adiabatici: invariante adiabatico per un pendolo semplice con lunghezza del filo che cambia lentamente nel tempo; invarianza dell'integrale di azione per un sistema generico soggetto a moto quasi-periodico. Secondo e terzo invariante adiabatico del moto di una particelle carica in un campo magnetico. Configurazioni di confinamento toroidali: tokamak e stellarator. Superfici magnetiche, trasformata rotazionale e fattore di sicurezza in un tokamak. Particelle circolanti e intrappolate in un tokamak. Orbita del centro guida delle particelle circolanti e intrappolate in un tokamak.

Capitolo 3: Collisioni coulombiane nei plasmi e frenamento di particelle cariche

Richiami sulle proprietà generali delle collisioni nei plasmi completamente ionizzati; derivazione formale dell'equazione di Fokker-Planck; termini di frizione e isotropia nell'equazione di Fokker Planck per collisioni coulombiane a piccolo angolo; equazione per il rallentamento della velocità media; frenamento di una particella carica in un plasma: regime resistivo e runaway; frenamento di una carica con velocità compresa tra le velocità termiche ionica ed elettronica. Concetto di energia critica e trasferimento dell'energia su ioni ed elettroni. Calcolo della resistività di un plasma dall'equazione di Fokker-Planck e del campo elettrico di Dreicer per la produzione di particelle runaway; derivazione della distribuzione di frenamento delle particelle alfa dall'equazione di Fokker-Planck

Capitolo 4: Emissione di radiazione dai plasmi termonucleari

Introduzione ai processi di emissione di radiazione nei plasmi. Emissione di radiazione da cariche libere: radiazione di frenamento e di ciclotrone. Potenziali elettromagnetici di una carica libera in moto arbitrario. Vettore di Poynting e componenti radiative dei campi elettrici e magnetici per particelle cariche non relativistiche. Potenza totale irraggiata e la sua distribuzione angolare. Emissione di ciclotrone: potenza totale irraggiata e spettro in frequenza. Emissione alla frequenza ciclotronica fondamentale e alle sue armoniche. Potenza totale irraggiata per radiazione di frenamento. Elementi di trasporto della radiazione in un plasma: processi di emissione ed assorbimento. Spessore ottico di un plasma.

Capitolo 5: Trasporto collisionale

Diffusione dovuta alle collisioni nei plasmi: modello random walk della diffusione, equazione della diffusione, coefficienti di diffusione in plasmi magnetizzati e non magnetizzati. Proprieta' generali della diffusione in plasmi debolmente ionizzati. Modello a due fluidi per plasmi debolmente ionizzati senza campo magnetico: calcolo del campo elettrico e del coefficiente di diffusione ambipolare. Introduzione alla diffusione in plasmi completamente ionizzati: ruolo delle collisioni tra particelle identiche e non identiche. Diffusione delle particelle dovuta a collisioni elettrone-ione in plasmi completamente ionizzati: calcolo del coefficiente di diffusione e confronto con i dati sperimentali. Diffusione dell'energia nei plasmi completamente ionizzati: ruolo delle collisioni ione-ione, elettrone-elettrone, ione-elettrone e relative diffusività termiche. Confronto del valore teorico per la diffusività termica con quello osservato sperimentalmente. Cenni al trasporto neoclassico: contributo delle cariche circolanti ed intrappolate al trasporto di particelle ed energia in geometria toroidale. Corrente di bootstrap. Cenni al trasporto turbolento e relative osservazioni sperimentali.

Capitolo 6: Introduzione alla fusione termonucleare controllata

Reazioni di interesse per la fusione termonucleare, ruolo delle particelle alfa e dei neutroni nella reazione deuterio-trizio, sezione d'urto di fusione nel modello classico e quantistico, calcolo del rateo di reazione e della reattività, processi che contribuiscono al riscaldamento e al raffreddamento del plasma. Tempo di confinamento dell'energia, criterio di Lawson, regimi di funzionamento di un processo di fusione per la produzione di energia: ignizione ideale, ignizione, amplificazione di potenza. Parametro di guadagno Q termico ed elettrico.

Prerequisiti

I corsi di matematica e fisica della Laurea Triennale in Fisica

Modalità didattica

Lezione frontale con esercizi assegnati per l'esame. L'insegnamento sarà tenuto in lingua inglese.

Materiale didattico

Testi di Riferimento

- (Bellan) Paul M. Bellan, “Fundamentals of plasma physics”, ed. Cambridge University Press, 2006
- (Pucella) G. Pucella e S. E. Segre, “Fisica dei plasmi”, ed. Zanichelli, 2009
- (Dolan) T.J. Dolan “Fusion Research”, Pergamon Press ISNB 0-08-025565-5
- (Goldston) R.J. Goldson e P.H. Rutherford, “Introduction to Plasma Physics”, IOP Publishing Ltd, 1995
- (Freidberg) J.P. Freidberg, “Plasma physics and fusion energy”, ed. Cambridge University Press, 2007
- (Bekefi) G. Bekefi, **“**Radiation Processes in Plasmas”, Wiley, New York
- (Bittencourt) J.A. Bittencourt, Fundamentals of Plasma Physics, Third Edition, Springer
- (Chen) F.F. Chen, Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion, 2nd ed. Vol.1, Plenum Press NY

Periodo di erogazione dell'insegnamento

Secondo semestre

Modalità di verifica del profitto e valutazione

Esame orale con discussione degli esercizi assegnati durante il corso.

1) Esercizi assegnati durante il corso

Durante lo svolgimento delle lezioni allo studente saranno assegnati degli esercizi su ciascun capitolo del corso. Lo studente deve risolvere gli esercizi assegnati, eventualmente rivolgendosi al docente per chiarimenti, e presentarsi all'esame orale con la propria soluzione degli esercizi.

2) Esame orale

L'esame orale è così strutturato. Lo studente può scegliere tre argomenti del corso, ciascuno di un capitolo diverso. In sede d'esame, il docente sceglierà almeno uno tra i tre argomenti e lo studente dovrà essere in grado di presentarlo nel dettaglio, incluse le dimostrazioni che sono state svolte a lezione su quell'argomento. Le successive domande saranno invece di carattere più generale e riguarderanno i restanti argomenti presentati a lezione. Per questi argomenti, non è necessario conoscere i dettagli delle dimostrazioni svolte a lezione, ma si deve comunque dimostrare di conoscere i risultati principali e le loro implicazioni. La discussione generale degli argomenti del corso non compresi nella terna scelta dallo studente avviene a partire dalla soluzione degli esercizi assegnati durante il corso.

Orario di ricevimento

Su appuntamento per email