UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

COURSE SYLLABUS

Plasma Physics II

2627-1-F1703Q037

Obiettivi

Il corso si propone di fornire agli studenti una descrizione degli effetti collisionali nei plasmi, dell'emissione di radiazione e di alcuni elementi della fisica dei tokamak e della fusione termonucleare.

- Conoscenze e capacità di comprensione: conoscenza degli effetti collisionali nei plasmi, dell'emissione di radiazione, di elementi di fisica dei tokamak e della fusione nucleare, e comprensione dei modelli matematici che li descrivono.
- Conoscenza e capacità di comprensione applicate: conoscenza della principale fenomenologia associata alle collisioni nei plasmi e alla fisica dei tokamak.
- Autonomia di giudizio: capacità di giudicare autonomamente i limiti dei modelli presentati nel corso rispetto alla fenomenologia rilevante.
- Abilità comunicative: capacità di descrivere in modo chiaro gli effetti collisionali nei plasmi e l'emissione di radiazione, i modelli che li descrivono e i loro limiti.

Contenuti sintetici

Richiami di fisica dei plasmi, introduzione ai processi collisionali nel plasma, cenni alla teoria cinetica collisionale, emissione di radiazione dai plasmi, trasporto collisionale di particelle ed energia, elementi di fisica del tokamak, generalità sul processo di fusione termonucleare a confinamento magnetico.

Programma esteso

Capitolo 1: Introduzione alla fisica del plasma
Richiami alle proprietà generali dei plasmi: 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: 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 3: 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 4: 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.

Capitolo 5: Elementi di Fisica dei Tokamak
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. Equilibrio in un tokamak: equazione di Grad-Shafranov. Elementi di trasporto neoclassico e turbolento. Emissione di radiazione nucleare.

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. E' consigliata la conoscenza di alcuni elementi di base della fisica dei plasmi, anche se non obbligatoria.

Modalità didattica

Lezione frontale con esercizi assegnati per l'esame. L'insegnamento sarà tenuto in lingua inglese e sarà costituito da 21 lezioni da 2 h ciascuna così suddivise:

- almeno 15 lezioni da 2 ore ciascuna (almeno 30 ore totali) svolte in modalità didattica erogativa in presenza.
- fino a 6 lezioni da 2 ore ciascuna (fino a 12 ore totali) svolte in modalità didattica erogativa da remoto.

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
- (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
- (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

L'esame è scritto, eventualmente seguito da una prova orale, e consiste di due sezioni. Nella prima sezione, lo studente dovrà presentare nel dettaglio un argomento tra quelli presenti all'interno di una lista pubblicata sulla pagina di e-learning, incluse le eventuali dimostrazioni matematiche relative a quell'argomento. Almeno tre giorni prima dell'esame, lo studente dovrà comunicare per e-mail al docente tre argomenti tra quelli presenti nella lista e, il giorno dell'esame, il docente ne sceglierà uno per la prima sezione della prova scritta. La seconda sezione consisterà, invece, in due domande più brevi. Ciascuna domanda consisterà nella soluzione di uno degli esercizi assegnati per casa durante il corso, corredata di qualche domanda sugli aspetti teorici generali relativi all'esercizio. Per la risposta a tali domande non sarà richiesto di conoscere il dettaglio delle dimostrazioni matematiche. Per lo svolgimento della prova, lo studente non potrà usare appunti o libri di testo, ma potrà servirsi di una copia stampata del formulario messo a disposizione alla pagina di e-learning. A ciascuna sezione delle prova saranno assegnati fino a 16 punti. Il voto finale consisterà nel punteggio conseguito nella prova scritta, eventualmente arrotondato all'intero. Ai punteggi superiori a 30 sarà assegnata la valutazione di "30 e lode". La valutazione di ciascuna sezione si baserà, per il 70%, sulla conoscenza dei contenuti, e per il restante 30% sulla chiarezza espositiva. Conoscenza e chiarezza espositiva devono comunque essere ciascuna non significativamente carenti per ritenere superata la prova. Per partecipare alla breve discussione orale è necessario un punteggio minimo pari a 15. In presenza di un punteggio uguale o superiore a 20 la prova orale è facoltativa e lo studente può registrare il voto così come è, facendone richiesta al docente per email. La breve discussione orale è finalizzata ad accertare l'eventuale superamento delle lacune emerse nella prova scritta. L'esame è in lingua italiana o, su richiesta, in lingua inglese. In caso di limitato numero di studenti partecipanti al corso (non più di 10), la prova scritta è sostituita da una prova orale con la medesima struttura sopra specificata.

Graduazione della valutazione

18-19: preparazione su un numero ridotto di argomenti presenti nel programma del corso, con capacità di trattazione e applicazione alla soluzione di problemi limitate che, nel caso della prova orale, emergono solo a seguito dell'aiuto e delle domande del docente; competenza espositiva e lessico non sempre corretti, con una capacità di elaborazione critica limitata;
20-23: preparazione su una parte degli argomenti presenti nel programma del corso, capacità di applicazione alla soluzione dei problemi solo nei casi più semplici, uso di un lessico corretto anche se non del tutto accurato e chiaro e di una capacità espositiva a tratti incerta;
24-27: preparazione su un numero ampio di argomenti trattati nel programma del corso, capacità di applicazione alla soluzione di problemi di difficoltà intermedia, uso di un lessico corretto e competenza nell'uso del linguaggio disciplinare;
28 – 30/30L: preparazione completa ed esaustiva sugli argomenti in programma d'esame, capacità di analisi critica dei temi e di applicazione per la soluzione di problemi anche abbastanza complessi, piena padronanza del lessico disciplinare e di una capacità espositiva rigorosa e articolata.

Orario di ricevimento

Su appuntamento per email

Sustainable Development Goals

ISTRUZIONE DI QUALITÁ | ENERGIA PULITA E ACCESSIBILE | LAVORO DIGNITOSO E CRESCITA ECONOMICA