

**Programma del modulo di
FISICA DEI PLASMI
per il Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica
prof. Stefano Atzeni, A.A. 2011-2012 e 2012-2013**

Testi di riferimento:

- G. Pucella e S. E. Segre, *Fisica dei Plasmi*, Zanichelli, Bologna, 2010 (PS nel seguito);
- dispense distribuite dal docente (vedi sotto);
- copie di due presentazioni PowerPoint (vedi sotto);
- S. Atzeni and J. Meyer-ter-Vehn, *The Physics of Inertial Fusion*, Clarendon-Oxford, 2004, 2009 (AMtV nel seguito).

<p>Definizione di plasma e parametri dei plasmi naturali e prodotti dall'uomo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Equazione di Saha per la ionizzazione in equilibrio termodinamico • Schermatura di Debye e “quasi neutralità”, lunghezza di Debye • Oscillazioni di plasma e frequenza di plasma: <ul style="list-style-type: none"> - modello “a doppio strato” - modello fluido • Plasmi naturali e applicativi – parametri caratteristici (plasmi ideali e non ideali; plasmi degeneri) 	<p>PS, Cap. 1</p>
<p>Moto di particelle singole in campi elettrici e magnetici imposti</p> <ul style="list-style-type: none"> • Moto in campo magnetico uniforme: raggio di Larmor, frequenza di ciclotrone • Moto in campi elettrici e magnetici uniformi: deriva $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$ • Moto in campo magnetico non uniforme: <ul style="list-style-type: none"> ○ grad \mathbf{B} ortogonale a \mathbf{B} (deriva grad \mathbf{B}) ○ deriva da curvatura ○ grad \mathbf{B} parallelo a \mathbf{B}: primo invariante adiabatico • Esempi <ul style="list-style-type: none"> ○ Specchio magnetico (e cono di perdita) ○ Necessità di “trasformata rotazionale” in configurazioni toroidali ○ Cenni al meccanismo di accelerazione di Fermi 	<p>PS, par. 2.1 e 2.2 (trattazione un po' più formale di quella esposta in aula); in alternativa: appunti del docente: “Moto di una particella carica in campi \mathbf{E} e \mathbf{B} assegnati”)</p> <p>PS, par. 2.3 PS, par. 2.4, fino al primo capoverso di p. 28</p>
<p>Collisioni coulombiane.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Urti nel sistema del centro di massa • Parametro d'urto, angolo di scattering • Sezione d'urto di Rutherford • Trattazione semiquantitativa di frequenze di collisione, liberi cammini medi, • Tempi di rilassamento fra particelle della stessa specie (elettroni o ioni) e di specie diverse (elettroni e ioni) • Resistività elettrica: modello collisionale e sua discussione, limiti di validità, elettroni di “runaway” 	<p>PS, par. 3.1 PS, par. 3.1 Dispensa “collisioni ...” Dispensa “collisioni...” Dispensa “Collisioni ...” PS, par. 3.4</p>
<p>Emissione di radiazione</p> <ul style="list-style-type: none"> • Generalità. Richiami sulla formula di Larmor • Radiazione di ciclotrone (potenza e densità di potenza) • Radiazione di frenamento (Bremsstrahlung): densità di potenza, spettro 	<p>PS, Par. 12.1 e 12.2 (omettendo eq. 12.3) PS, Par. 12.4, fino alla metà p. 319. PS, Par. 12.3</p>

<p>Plasmi e fusione termonucleare – condizioni generali</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reazioni di fusione nucleare (con cenni a sezioni d'urto e reattività); principali reazioni fra gli isotopi dell'idrogeno (DT, DD) • Bilancio energetico di un plasma fusionistico in condizioni stazionarie. Condizioni per il sostentamento delle reazioni DT: temperatura e confinamento: temperatura ideale d'ignizione; criterio di Lawson; criterio "ntT" • Cenni agli schemi di confinamento: magnetico e inerziale 	<p>PS, par. 13.1, oppure AMtV, par. 1.1-1.2.2 e 1.3.1</p> <p>PS, par. 13.2, oppure AMtV, par. 2.1 e 2.4</p> <p>PS, par. 13.5 oppure AMtV, par. 2.2 e 2.3</p> <p>[anche dispensa "Reazioni di fusione nucleare e ..."]</p>
<p>Teoria cinetica, modelli fluidi, modelli MHD</p> <ul style="list-style-type: none"> • Equazione di Boltzmann ed equazione di Vlasov • Momenti dell'equazione di Boltzmann e modello fluido • Modello di plasma a due fluidi • Il sistema delle equazioni per un plasma "singolo fluido" e le equazioni della magnetoidrodinamica (MHD) ideale e resistiva • Discussione qualitativa della legge di Ohm generalizzata; limiti ed applicabilità dell'approssimazione MHD (considerazioni dimensionali) 	<p>Dispensa "Dall'equazione di Boltzmann alla magnetoidrodinamica"</p>
<p>Semplici applicazioni del modello MHD</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diffusione del campo magnetico • Congelamento delle linee di forza di \mathbf{B} • Derive fluide in direzione ortogonale a \mathbf{B}: <ul style="list-style-type: none"> ○ deriva diamagnetica e corrente diamagnetica ○ deriva $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$ 	<p>Dispensa "Qualche semplice applicazione delle equazioni della MHD"</p>
<p>Trasporto di particelle ed energia</p> <ul style="list-style-type: none"> • Trattazione classica elementare del coefficiente di diffusione • Coefficiente di diffusione per un plasma magnetizzato o non magnetizzato • Discussione; cenni al "trasporto anomalo" 	<p>PS, par. 8.1 (esclusa la trattazione della viscosità)</p>
<p>Onde nei plasmi</p> <ul style="list-style-type: none"> • Generalità; proprietà dell'equazione delle onde, soluzioni ondose • Velocità di fase e di gruppo • Richiami sulla teoria lineare delle perturbazioni; relazione di dispersione lineare • Teoria lineare per il sistema delle equazioni di Maxwell e per un plasma fluido; onde elettrostatiche ed onde elettromagnetiche. • Onde elettroniche di plasma (Bohm-Gross) • Onde elettromagnetiche in plasmi non magnetizzati <ul style="list-style-type: none"> ○ Relazione di dispersione; limite non collisionale: discussione: cut-off e densità critica; rifrazione; esempi: riflessione delle onde medie nella ionosfera; black-out al rientro nell'atmosfera. ○ Assorbimento collisionale: coefficiente di assorbimento (con particolare riferimento all'interazione laser-plasma); ○ Cenni all'interazione fra radiazione laser e bersaglio solido: ablazione e pressione ablativa; applicazione alla fusione inerziale: implosione indotta da ablazione laser. • Cenni sui processi parametrici • Onde di Alfvén 	<p>PS, Par. 10.4</p> <p>Dispensa "Appunti sulle onde nei plasmi"</p> <p>Dispensa "Complementi sulle onde nei plasmi"</p> <p>Dispensa "Complementi sulle onde nei plasmi"</p> <p>PS, Par. 9.1</p>

<p>Equilibrio magnetoidrodinamico</p> <ul style="list-style-type: none"> • Considerazioni generali, ortogonalità fra linee di forza di B e gradiente di pressione, ortogonalità fra linee di corrente e gradiente di pressione; superfici magnetiche, tubi di corrente. <p>Cenni alle configurazioni cilindriche a strizione (Zeta-pinch e Theta pinch,). Equilibrio di Bennet per lo Z-pinch.</p>	<p>Dispensa “Cenni sull’equilibrio MHD e sulla strizione (pinch) di una colonna di plasma”</p>
<p>Introduzione alla fusione a confinamento inerziale</p> <ul style="list-style-type: none"> • Requisiti essenziali: ignizione localizzata e compressione • Fusione inerziale tramite implosione indotta da laser; illustrazione tramite simulazioni 1D e 2D, parametri di massima; esempi. Approccio diretto e indiretto. • Gli aspetti critici: efficienza di trasferimento dell’energia laser, compressione quasi-adiabatica, simmetria di implosione, controllo delle instabilità • Cenni ai sistemi laser di potenza per ricerca fusionistica 	<p>presentazione ppt “Fusione a confinamento inerziale, principi, risultati, prospettive” (anche AMtV, cap. 3)</p>
<p>Introduzione alle macchine per fusione a confinamento magnetico</p> <ul style="list-style-type: none"> • Configurazioni aperte (specchi) e chiuse (toroidali) • Configurazioni toroidali: campo toroidale, poloidale, verticale e loro realizzazione in Tokamak e stellarator • Macchine tokamak: descrizione, cenni risultati della sperimentazione e alle prospettive (macchina ITER, problemi relativi ad un futuro reattore) 	<p>presentazione ppt “Macchine per fusione a confinamento magnetico – Cenni su principi, risultati, prospettive”</p>