

# Corso Processi e Plasmi Astrofisici – A.A. 2014/15 – Francesco Piacentini

## Introduzione alla fisica del plasma

Richiami di elettromagnetismo, equazioni di Maxwell, unità di misura [ABP]  
Definizione di plasma, processi di ionizzazione e ricombinazione, equazione di Saha (senza derivazione) [DM]  
Concetto di temperatura e distribuzione di Maxwell [FC]  
Lunghezza di Debye [DM, FC]  
Parametro di Plasma [DM, FC]  
Frequenza di Plasma [DM, FC]  
Equazione di stato nei plasmi (gas perfetti) [DM, FC]  
Collisioni in gas neutro, collisioni elettrone-elettrone in plasma [DM, BT]  
Frequenza di collisione elettrone-elettrone [DM, BT]  
Frequenza di collisione in funzione di temperatura e densità [DM, FC]  
Collisioni elettrone-protone, protone-protone [DM, FC]  
Cammino libero medio nel plasma [DM, FC]  
Riassunto parametri fondamentali del plasma

## Moto di cariche in campi elettrici e magnetici

Moti di particelle in campi magnetici uniformi [DM, BT]  
In campi magnetici e elettrici uniformi Deriva EB [DM, BT]  
Momento magnetico di una particella [DM, BT]  
Deriva in campo di forze qualsiasi [DM, BT]  
Teoria delle orbite (campi variabili) [DM, BT]  
Caso grad B ortogonale a B [DM, BT]  
Magnetosfera, ionosfera e fasce di Van Allen [BT, DM]  
Caso grad B parallelo a B [DM, FC, BT]  
Specchio magnetico [DM, BT, FC]  
Intrappolamento magnetico [DM, BT]  
Caso di B curvo [DM, BT]  
Invarianti adiabatici (primo e secondo) [DM, FC]  
Pompaggio magnetico [DM, FC]  
Oscillazioni in bottiglia magnetica [DM, FC]  
Moti delle particelle in campo geomagnetico [DM]  
Rigidità magnetica [DM]

## Meccanica dei Fluidi

Elementi di meccanica dei fluidi [DM, LL]  
Approccio Euleriano e Lagrangiano [CC]  
Derivata avvertiva [DM, LL]  
Equazione di continuità [DM, LL]  
Equazione di Eulero per fluido perfetto [DM, LL]  
Equazione di conservazione dell'entropia [DM, LL]  
Equazione di conservazione dell'energia [DM, LL]  
Conservazione del flusso di quantità di moto [DM, LL]  
Tensore degli sforzi [DM, LL]  
Richiami di formule di termodinamica  
Trinomio di Bernoulli [DM, LL]

Fluidi viscosi [DM, LL]  
Tensore degli sforzi viscosi [DM, LL]  
Equazione di Navier-Stokes [DM, LL]  
Numero di Reynolds [DM, LL]  
Conservazione dell'energia nel caso viscoso [DM, LL]  
Conservazione dell'entropia nel caso viscoso [DM, LL]  
Equazione di Fourier per trasferimento del calore – diffusività termica [DM, LL]  
Moti convettivi [DM]  
Il numero di Rayleigh [DM]  
Il sole, introduzione, moti convettivi e granulazione [DM]

### **Onde acustiche**

Onde acustiche, introduzione  
Velocità di fase e velocità di gruppo [DM, LL]  
Equazioni del fluido per le perturbazioni [DM, LL]  
Relazione di dispersione nel caso di onde sonore [DM, LL]  
Velocità del suono [DM, LL]  
Proprietà delle onde sonore [DM, LL]

### **Onde d'urto [\*]**

Onde d'urto introduzione [DM, LL, ]  
Discontinuità in un fluido e leggi di conservazione [DM, LL]  
Discontinuità tangenziali e di contatto [DM, LL]  
Onde d'urto [DM, CC]  
Relazioni di Rankine-Hugoniot [DM, CC]  
Onde d'urto in gas perfetto [DM, CC]  
Proprietà delle onde d'urto [DM, CC]  
Trasformazione di onda sonora in onda d'urto [DM, LL]  
Atmosfera solare e vento solare [DM]  
Tubo di DeLaval [DM]  
Espansione supersonica della corona solare a la DeLaval [DM, CC]

### **Conducibilità termica ed elettrica del plasma**

Conducibilità termica e viscosità in plasma non magnetizzato [DM]  
Conducibilità termica e in plasma magnetizzato [DM]  
Anisotropia di pressione e di temperatura [DM]  
Conducibilità elettrica in un plasma non magnetizzato [DM]  
Conducibilità elettrica nel plasma magnetizzato [DM]  
Effetto Hall [DM]

### **Magnetoidrodinamica**

Magnetoidrodinamica – introduzione [DM]  
Magnetoidrodinamica – 5 ipotesi  
MHD – approssimazione di campo quasi statico [DM]  
MHD - Equazione dell'induzione magnetica [DM]  
MHD - Diffusione magnetica [DM]  
MHD - Equazione del congelamento del campo magnetico [DM]  
Numero di Reynolds magnetico [DM]  
Regime di congelamento [DM]

MHD - Teorema di Alfvén [DM]  
Dimostrazione del Teorema di Alfvén [DM]  
Legame tra elementi di fluido e campo magnetico [DM]  
MHD - Equazione di Eulero in caso MHD [DM, BT]  
MHD – legge di Ohm generalizzata [DM, BT]  
Pressione magnetica [DM]  
Tensione magnetica [DM]  
Equazione di trasferimento del calore magnetoidrodinamica [DM]  
Equazione di conservazione dell'energia MHD [DM]

### **Campo magnetico solare**

Campo magnetico solare [DM]  
Macchie solari, modello MHD, ciclo di attività [DM]  
Diagramma a farfalla per macchie solari [DM]

### **Onde nel plasma**

Introduzione alle onde nel plasma [DM, BT]  
Onde elettrostatiche degli elettroni (Langmuir) [DM, BT]  
Onde elettrostatiche degli ioni [DM, BT, FC]  
Onde elettromagnetiche [DM, BT]  
Propagazione di onde elettromagnetiche nel plasma [DM, BT]  
Velocità di fase e di gruppo per onde elettromagnetiche nel plasma [RL]  
Costante dielettrica del plasma [RL]  
Indice di rifrazione del plasma [RL]  
Cut-off di onde elettromagnetiche nel plasma [DM, BT]  
Misura di dispersione [RL]  
Propagazione di onde elettromagnetiche nel plasma magnetizzato [FC, RL]  
Rotazione Faraday [FC, RL]  
Misura di Rotazione [RL]

### **Onde MHD [\*]**

Onde magnetoidrodinamiche di Alfvén per plasma freddo [DM]  
Velocità di Alfvén  
Onde di Alfvén non compressive [DM]  
Onde di Alfvén compressive [DM]  
Relazione di Walén [DM]  
Riconnessione magnetica (cenni) [DM]

### **Cenni di teoria cinetica del plasma**

Introduzione alla teoria cinetica dei plasmi [BT]  
Equazione di Boltzmann [BT]  
Equazione di Vlasov [BT]

### **Emissione elettromagnetica**

Equazioni di Maxwell per i potenziali [ABP, RL]  
Invarianza di Gauge [ABP, RL]  
Forma covariante delle eq. di Maxwell per i potenziali [ABP]  
Potenziali ritardati [RL, FLP 21-3]  
Potenziali di Lienard-Wiechert [RL]

Campo elettrico e magnetico generato da cariche in moto (senza derivazione) [RL]  
Campo elettrico nel caso di sola velocità [RL]  
Formula da Larmor non relativistica [RL]

### **Richiami di relatività speciale**

Richiami di relatività speciale [FLP]  
Esperimento di Michelson e Morley [FLP 15-3]  
Trasformate di Lorentz [RL]  
Contrazione delle lunghezze [RL]  
Dilatazione dei tempi [RL]  
Tempo proprio [RL]  
Quadrivettori, formalismo relativistico, prodotto scalare [RL]  
Invarianti per trasformazioni di Lorentz [RL]  
Quadrivelocità e invariante associato [RL]  
Quadriimpulso e invariante associato [RL, BH]  
Caso dei fotoni [RL]  
Elettrodinamica relativistica [RL, ABP]  
Trasformazioni dei campi E, e B [RL, ABP]

### **Effetto Doppler relativistico**

Effetto Doppler classico [BH, RL]  
Effetto Doppler relativistico [BH, RL]  
Effetto Doppler parallelo [BH]  
Effetto Doppler trasverso [BH]

### **Formula di Larmor relativistica**

Trasformazione di Lorentz per la velocità e aberrazione relativistica [RL, HB]  
Beaming relativistico [RL, BH]  
Distribuzione angolare della radiazione (qualitativo) [RL]  
Quadriaccelerazione e invariante associato [RL]  
Formula di Larmor relativistica [RL]  
Forma relativistica dell'equazione di Newton [RL]

### **Grandezze fotometriche e trasporto radiativo**

Grandezze fotometriche [RL, HB]  
Flusso e flusso specifico [RL, HB]  
Brillanza [RL, BH]  
Relazione tra densità di energia e brillanza [RL, BH]  
Trasporto radiativo nel vuoto [RL, BH]  
Assorbimento [RL]  
Emissione [RL]  
Equazioni del trasporto radiativo [RL]  
Funzione sorgente [RL]  
Soluzione formale dell'equazione del trasporto radiativo [RL]  
Casi semplici [RL]  
Spessore ottico e cammino libero medio [RL]

### **Radiazione termica**

Radiazione di corpo nero [RL]

Funzione sorgente nel caso di emissione termica (legge di Kirchhoff) [RL]  
Stima di massa di nubi di polvere

### **Bremsstrahlung**

Bremsstrahlung [HB]  
Emissione da singolo elettrone [HB]  
Emissione nel caso di tanti elettroni (alla stessa velocità) e tanti ioni [HB]  
Emissione nel caso di distribuzione termica (Maxwelliana) [HB]  
Fattori di Gauntt [HB]  
Bremsstrahlung termica, assorbimento free-free, spettro nel caso otticamente spesso e otticamente sottile [HB]  
Misura dell'emissione [HB]

### **Sincrotrone**

Sincrotrone [HB]  
Moto di carica relativistica in campo magnetico [HB]  
Spettro della radiazione [HB]  
Potenza totale emessa [RL]  
Caso di elettroni distribuiti a legge di potenza, coefficiente di emissione [HB]

### **Scattering Thomson e Compton e Compton Inverso**

Scattering Thomson [RL]  
Scattering Compton [HB]  
Compton inverso [HB]  
Potenza emessa per Compton inverso da singolo elettrone [HB]  
Coefficiente di emissione per Compton inverso [HB]  
L'effetto Sunyaev – Zel'dovich (cenni) [HB]

### **[\*] Nota:**

Negli appelli di Febbraio sono escluse onde d'urto e onde MHD.

### **Bibliografia**

- [DM] Dispense Prof. Moreno
- [FC] Francis F. Chen, Introduction to Plasma Physics and controlled Fusion. Vol. 1, Springer
- [BT] Baumjohann, Treumann, Basic Space Plasma Physics, Imperial College Press, 1997
- [CC] Clarke C.J. Carswell R.F., Astrophysical Fluid Dynamics. CUP, 2007
- [PS] C. Pucella, S.E Segre, Fisica dei plasmi, Zanichelli
- [LL] L.D. Landau, E.M. Lifshitz, Fluid Mechanics, vol 6 of course of theoretical physics, Pergamon Press
- [FP] Appunti Prof. Piacentini
- [ABP] E. Amaldi, R. Bizzarri, G. Pizzella, Fisica Generale (elettromagnetismo, relatività, ottica), Zanichelli Editore
- [RL] G. B. Rybicki, A.P. Lightman, Radiative Processes in Astrophysics, Wiley
- [HB] Hale Bradt, Astrophysics Processes: The Physics of Astronomical Phenomena, Cambridge University Press
- [FLP] The Feynman Lectures on Physics, <http://www.feynmanlectures.caltech.edu/>

## **Modalità di esame**

Gli esami prevedono una prova orale con domande sugli argomenti del corso.

## **Date appelli di esame**

02/02/2015

18/02/2015

18/05/2015 - Appello riservato a studenti fuori corso e assimilati, ai sensi del regolamento didattico del Corso di Laurea

22/06/2015

20/07/2015

21/09/2015

16/11/2015 - Appello riservato a studenti fuori corso e assimilati, ai sensi del regolamento didattico del Corso di Laurea