

Seminario de posgrado  
**INTRODUCCIÓN A LA MAGNETOHIDRODINÁMICA**



Carácter: Cuatrimestral, segundo semestre.

Duración: 75 horas.

Profesor: Dra. Ana M. Platzek

Evaluación: Examen Final.

**I.- Consideraciones generales sobre la teoría de plasmas**

Concepto de plasma. Longitud de apantallamiento de Debye. Respuesta colectiva y respuesta individual • Rangos de aplicación de los diferentes enfoques • Plasmas en Astrofísica y Geofísica. Ejemplos de plasmas interactuantes con campos magnéticos •

**II.- Movimiento de partículas cargadas en campos electromagnéticos.**

Movimiento en campos uniformes. Deriva  $\vec{E} \times \vec{B}$  • Movimiento en campos no uniformes. Deriva  $\vec{\nabla} \cdot \vec{B}$ . Deriva de curvatura • Movimiento en campos dependientes del tiempo e invariantes adiabáticos. Espejos magnéticos. Cinturón de Van Allen • Mapeos. Superficies de sección de Poincaré. Órbitas regulares y caóticas •

**III.- Aproximación magnetohidrodinámica (MHD)**

Ecuaciones electromagnéticas, mecánicas y termodinámicas en MHD. Análisis de los rangos de validez • Ley de Ohm generalizada • Ecuación de inducción. Límite difusivo. Límite de conductividad perfecta. Plasmas congelados y teorema de Alfvén • Fuerza de Lorentz en fluidos conductores. Presión y tensión magnéticas • Parámetros adimensionales: números de Reynolds, Mach, Mach-Alfvén, etc •

**IV.- Magnetohidrostática y flujos estacionarios**

Representación de un campo de divergencia nula usando funciones escalares. Superficies magnéticas • Ecuaciones de la magnetohidrostática. Sistemas bajo la influencia de campos gravitatorios: variación de la presión con la altura • Campos potenciales • Campos force-free. Ejemplos de campos force-free lineales • Equilibrios magnetohidrostáticos cuando actúan el gradiente de presión y la fuerza de Lorentz. Efecto pinch • Equilibrios y flujos MHD estacionarios en sistemas con simetría. Función corriente o función de Stokes. Caso estático; obtención de la función corriente de  $\vec{B}$ . Caso estacionario; planteo del problema; ejemplo •



## V.- Análisis topológico de los campos en plasmas conductores perfectos

Coefficiente de encadenamiento. Integral de encadenamiento de Gauss • La helicidad magnética como invariante topológico. Interpretación física. Extensión a sistemas múltiplemente conexos • Invariancia de la helicidad ante cambios de gauge • Teorema de Woltjer • Plasmas confinados en cavidades conductoras: estados de energía magnética mínima • Evolución temporal de superficies magnéticas: invariancia de la helicidad • Deriva de las líneas de inducción magnética en plasmas congelados. Restricciones topológicas y energía magnética mínima •

## VI.- Ondas magnetohidrodinámicas

Generalidades y clasificación • Ondas de sonido • Ondas magnéticas. Ondas de Alfvén de corte y compresionales • Ondas magnetoacústicas. Soluciones rápida y lenta • Ondas acústicas-de gravedad en gases y en plasmas magnetizados • Ondas en medios estratificados •. Condiciones de aplicabilidad •

## VII.- Ondas de choque

Formación de ondas de choque • Ondas de choque hidrodinámicas. Relaciones de Rankine-Hugoniot • Ondas de choque con campo magnético transversal al frente de choque • Ondas de choque oblicuas. Ondas de choque lenta y rápida. Ondas "switch on" y "switch off" . Onda intermedia •

## VIII.- Calentamiento y reconexión magnéticos

Calentamiento de origen magnético • Hojas de corriente. Contacto de plasmas con campos magnéticos topológicamente separados. Representación de campos magnéticos bidimensionales a partir de funciones analíticas. Colapso de un punto neutro tipo X • Modelo de Parker de la aniquilación de campo magnético • Reconexión magnética. Modelo de Sweet-Parker .Modelo de Petschek. Otros modelos •

## IX.- Inestabilidades

Introducción • Linealización de las ecuaciones de la MHD. Ecuación diferencial para el desplazamiento  $\vec{\xi}$  • Método de los modos normales. Ejemplo: inestabilidad de Rayleigh-Taylor magnética. Inestabilidades de intercambio • Método variacional. Ejemplo: inestabilidad de kink • Inestabilidades resistivas, de Kelvin-Helmholz y convectiva. •

## X.- Origen de los campos magnéticos. Efecto dínamo

Campos fósiles y campos generados por efecto dínamo. Intensificación de campos magnéticos por colapso gravitacional • Efecto dínamo. Dínamos cinemáticos y dínamos MHD. Dínamos cinemáticos vistos como un problema de autovalo-

res • Sistemas axialmente simétricos. Teorema de Cowling. Generación de campo magnético azimutal por uno poloidal . Imposibilidad de generar un campo poloidal a partir de uno azimutal • Electrodinámica de campo medio. Efecto  $\alpha$  • Dínamos  $\alpha - \omega$  y  $\alpha^2$  . Ondas de dínamo •



## Bibliografía

- Agim, Y. Z. and Tataronis, J. A., 1985, *J. Plasma Physics*, 34, 337.
- Asseo, E. and Sol, H., 1987, "Extragalactic magnetic fields", *Phys. Reports* 148, 307.
- Boyd, T. J. M. y Sanderson, J. J., 1969, "Plasma dynamics", Nelson, London.
- Cincotta, P., Tesis doctoral, FCAG, UNLP.
- Cowling, T. G., 1981, "The present status of dynamo theory", *Ann. Rev. Astron. Astroph.* 19, 115.
- Jackson, E. A., "Perspectives of non Linear Dynamics", vol I, II
- Jackson, J. D., 1975, "Classical Electrodynamics", Wiley, New York.
- Landau, L. D. y Lifshitz, E. M., 1960, "Electrodynamics of continuous media", Pergamon, Oxford.
- Lichnerowicz, A., 1962, "Elementos de cálculo tensorial", Aguilar, Madrid.
- Mercier, C., 1974, "The MHD approach to the problem of plasma confinement in closed magnetic configurations", *Lectures in plasma physics, Commission of the European Communities, EUR 5127e*.
- Moffatt, H. K., Zaslavsky, G. M. Comte, P. y Tabor, M. (eds.), 1992, "Topological Aspects of the Dynamics of Fluids and Plasmas", Kluwer, Dordrecht.
- Palumbo, L. J., 1993, "Término de Hall y simetría helicoidal en flujos MHD estacionarios", tesis doctoral, FCAG, UNLP.
- Palumbo, L. J. and Platzeck, A. M., 1993, *Astroph. Journal* 416, 656.
- Priest, E. R., "Solar Magnetohydrodynamics", Reidel, Dordrecht.
- Rossi, B., Olbert, S., 1970, "Introduction to the Physics of Space", Mc. Graw-Hill, New York.
- Santaló, L. A., 1961, "Vectores y Tensores", EUDEBA.
- Shafranov, V. D., 1966, *Reviews of Plasma Physics*, 2, 103.
- Taylor, J. B., 1986, *Reviews of Modern Physics*, 58, 741.
- Woltjer, L., 1958, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 44, 489.
- Zeldovich, Ya. B., Ruzmaikin, A.A. and Sokoloff, D.D., 1983, "Magnetic Fields in Astrophysics", Gordon and Breach Science Publishers, New York.