



PROGRAMA DE LA ASIGNATURA

INTRODUCCIÓN A LA MAGNETOHIDRODINÁMICA

CARRERA: Astronomía / Geofísica

CARGA HORARIA SEMANAL: 4 horas 40 minutos

CARÁCTER: semestral

PROFESORES A CARGO: Dra P.A. Sallago, Prof. M.F. Montero y Prof. C. A. Paola

CONTACTO: mfer_13@yahoo.com ; pato@fcaglp.unlp.edu.ar

§

CONTENIDO TEMÁTICO:

1.- 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.

2.- Movimiento de partículas cargadas en campos electromagnéticos.

Movimiento en campos uniformes; deriva $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$. Movimiento en campos no uniformes, deriva grad \mathbf{B} y deriva de curvatura. Movimiento en campos dependientes del tiempo e invariantes adiabáticos. Espejos magnéticos. Cinturón de Van Allen.

3.- 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.

4.- 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; confinamiento magnético; efecto pinch. Flujos estacionarios; teoremas de isorotación de Ferraro y de Taylor-Proudman. Equilibrios y flujos estacionarios en sistemas con simetría. Función corriente o función de Stokes. Caso estático; obtención de la función corriente de \mathbf{B} . Caso estacionario; planteo del problema; aplicación a vientos estelares.

5.- Análisis topológico de los campos en plasmas conductores perfectos

Coficiente de encadenamiento; integral de encadenamiento de Gauss. La helicidad magnética como invariante topológico; interpretación física. Invariancia de la helicidad ante cambios de gauge. Plasmas congelados en cavidades conductoras: helicidad total constante y estados de energía magnética mínima. Teorema de Woltjer. Evolución temporal de superficies magnéticas: invariancia de la helicidad. Restricciones topológicas en plasmas congelados y energía magnética mínima.



6.- Ondas magnetohidrodinámicas

Generalidades y clasificación. Ondas de sonido. Ondas magnéticas; ondas de Alfvén de corte y compresionales; ondas de Alfvén de gran amplitud. Ondas magnetoacústicas; soluciones rápida y lenta. Ondas acústicas-de gravedad en gases y en plasmas magnetizados.

7.- Ondas de choque

Formación de ondas de choque. Ondas de choque hidrodinámicas; relaciones de Rankine-Hugoniot. Ondas de choque con campo magnético transversal a la dirección de propagación. Ondas de choque oblicuas; ondas de choque lenta y rápida; ondas “switch on” y switch off”; onda intermedia.

8.- Calentamiento y reconexión magnéticos

Calentamiento de origen magnético. Hojas de corriente. Contacto de plasmas con campos magnéticos topológicamente separados. Contacto de un punto neutro tipo X. Modelo de Parker de la aniquilación de campo magnético. Reconexión magnética; tasa de reconexión. Modelo de Sweet Parker. Resumen breve del modelo de Petschek. Análisis de la zona de difusión.

9.- Inestabilidades

Introducción. Linealización de las ecuaciones de la MHD. Ecuación diferencial para el desplazamiento. Método de los modos normales; ejemplo: inestabilidad de Raleigh-Taylor magnética. Método variacional. Algunas inestabilidades: de flexión (kink), de garganta (sausage), de Kelvin-Helmholz, convectiva, magnetorotacional, resistivas.

10.- 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 autovalores. Sistemas axialmente simétricos; teorema de Cowling; generación de un campo magnético azimutal por uno poloidal; imposibilidad de generar un campo poloidal a partir de uno azimutal. Electrodinámica de campo medio; efecto alfa; dínamos alfa-omega y alfa-alfa. Ondas de dínamo.

BIBLIOGRAFÍA:

- 1-Agim, Y.Z. and Tataronis, J.A., 1985, *J. Plasma Physics*, 34, 337.
- 2- Asseo, E. and Sol, H., 1987, "Extragalactic Magnetic Fields, *Phys. Reports* 148, 307.
- 3- Boyd, T.J.M. y Sanderson, J.J., 1969, "Plasma dynamics", Nelson, London.
- 4- Cowling, T.G., 1981, "The present status of dynamo theory", *Ann. Rev. Astron. Astroph.* 19, 115.
- 5-Durrive, Jean-Baptiste ; Keppens, Rony ; Langer, Mathieu , An MHD spectral theory approach to Jeans' magnetized gravitational instability, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 506, Issue 2, pp.2336-2361, 2021, <https://doi.org/10.1093/mnras/stab1726>
- 6-Gibbon, P ., Introduction to Plasma Physics, Published by CERN in the Proceedings of the CAS-CERN Accelerator School: Plasma Wake Acceleration, Geneva, Switzerland, 23–29 November 2014, edited by B. Holzer, CERN-2016-001.
https://cds.cern.ch/record/2203630/files/1418884_51-65.pdf
- 7- Goldston, R.J. y Rutherford, P.H., 1995, "Plasma Physics", Institute of Physics Publishing, Bristol.
- 8- Gouveia Dal Pino Elisabete M. de AGA5719 - Plasmas em Astrofísica Apostila, 2018
- 9- Jackson, J. D., 1975, "Classical Electrodynamics", Wiley, N.Y.
- 10- Landau, L.D. y Lifshitz, E.M., 1960, "Electrodynamics of continuous media", Pergamon, Oxford.
- 11-Lei Lu et al, Observational Signatures of Tearing Instability in the Current Sheet of a Solar Flare 2022 *ApJL* 924 L7, 2022, <https://doi.org/10.3847/2041-8213/ac42c6>
- 12- Lichnerowitz, 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.
- 13- Moffatt, H.K., Zaslavsky, G.M., Comte, P. y Tabor, M. (eds.), 1992, "Topological aspects of the dynamics of fluids and plasmas", Kluwer, Dordrecht.
- 14- Palumbo, L.J., 1993, "Término de Hall y simetría helicoidal en flujos MHD estacionarios", tesis doctoral, FCAG, UNLP.
- 15- Palumbo, L.J. and Platzek, A.M., 1993, *Astroph. Journal* 416, 656.
- 16- Platzek, A. M. ; Paola, C. A., Helicidad y energía magnética en la evolución temporal de plasmas conductores levemente resistivos, *Boletín de la Asociación Argentina de Astronomía*, vol.41, p.50-51, 1997.
<https://articles.adsabs.harvard.edu/full/1997BAAA...41...50P>
- 17- Pontin, DI & Priest ER, Magnetic reconnection: MHD theory and modelling, 2022
<https://link.springer.com/article/10.1007/s41116-022-00032-9>
- 18- Priest, E.R., "Solar Magnetohydrodynamics", Heidel, Dordrecht.
- 19- Rincon, F, Lecture notes Dynamo theories-. *Plasma Phys.* (2019), vol. 85, Cambridge University Press, <https://doi.org/10.1017/S0022377819000539>
- 20- Rossi; B., Olbert; S., 1970, "Introduction to the Physics of Space", Mc. Graw-Hill, New York.
- 21- Santaló, L.A., 1961, "Vectores y Tensores", EUDEBA.
- 22- Shafranov, V.D., 1966, *Reviews of Plasma Physics* 2, 103.
- 23- Schekochihin A., *Lectures on Kinetic Theory and Magnetohydrodynamics of Plasmas*, 2015
<https://www-thphys.physics.ox.ac.uk/people/AlexanderSchekochihin/KT/2015/KTLectureNotes.pdf>
- 24- Spruit, H. C., *Essential Magnetohydrodynamics for Astrophysics*, 2013,
<https://doi.org/10.48550/arXiv.1301.5572>



- 25- Taylor, J.B., 1986, Reviews of Modern Physics, 58, 741.
- 26- Yadav, N. ; Cameron, R. H. ; Solanki, S. K., Slow magneto-acoustic waves in simulations of a solar plage region carry enough energy to heat the chromosphere, Astronomy & Astrophysics, Volume 652, id.A43, 12 pp, 2021
<https://doi.org/10.1051/0004-6361/202039908>
- 27- Woltjer, L., Proceedings of the National Academy of Sciences, 44, 489.
- 28- Zeldovich, Ya. B., Ruzmaikin, A.A. and Sokoloff, D.D. 1983, "Magnetic Fields in Astrophysics", Gordon and Breach Science Publishers, New York