

F 1993  
18

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

DEPARTAMENTO; de Física

ASIGNATURA: **TEORIA DE PLASMAS**

CARRERA/S: Doctorado

ORIENTACION:

PLAN:

CARACTER: Optativo

DURACION DE LA MATERIA: 1(un) cuatrimestre

HORAS DE CLASE:	a) Teóricas.....	4	hs.	b) Problemas.....	hs.
	c) Laboratorio.....		hs.	d) Seminarios.....	hs.
				e) Totales.....	4
					hs.

**1. Introducción, propiedades y parámetros de los plasmas:**

Definición de plasma, grado de ionización, la ecuación de Saha; plasmas en la naturaleza y en el laboratorio; apantallamiento de cargas y campos eléctricos, el parámetro de plasma y la constante de acoplamiento, plasmas débilmente y fuertemente acoplados, plasmas clásicos y cuánticos; descargas gaseosas, sondas de Langmuir, velocidad de Bohm.

**2. Dinámica de partículas en un plasma: plasma sin colisiones:**

Movimiento de partículas cargadas en campos eléctricos y magnéticos, radio y frecuencia de Larmor, deriva eléctrica; los tensores de movilidad y de conductividad eléctrica y el tensor dieléctrico en un plasma frío y sin colisiones; oscilaciones de plasma, frecuencia de plasma.

**3. Oscilaciones y ondas en un plasma frío y sin colisiones:**

La relación de dispersión; oscilaciones longitudinales y transversales en un plasma sin campo magnético, penetración de ondas electromagnéticas en un plasma, la distancia piel; plasmas con campo magnético, la resonancia ciclotrónica; propagación de ondas electromagnéticas en un plasma con campo magnético, componentes longitudinales y transversales, cortes y resonancias en un plasma de dos especies; oscilaciones y ondas electrostáticas; el límite de bajas frecuencias, ondas de Alfvén; inestabilidades haz-plasma, ondas de energía negativa.

**4. Colisiones:**

Nociones básicas, sección eficaz, camino libre medio; teoría clásica de colisiones; colisiones Coulombianas con apantallamiento; tiempos de relajación; resistividad de un plasma completamente ionizado, difusión y decaimiento de campos magnéticos; fricción dinámica, el campo de Dreicer y el "runaway" de electrones, la resistividad anómala.

APROBADO POR RESOLUCION ED 1276/P3



### **5. Teorías Estadísticas:**

Mecánica estadística de plasmas fuera del equilibrio, distribución de Liouville, funciones de distribución de  $n$  partículas, la jerarquía BBGKY, correlaciones estáticas, modelo de Klimontovich, plasmas débilmente acoplados, modelos de Vlasov, colisiones, modelo de Fokker-Planck.

### **6. Modelos derivados de la Teoría Cinética:**

Momentos de las ecuaciones de Vlasov y de Boltzmann-Vlasov: las ecuaciones de continuidad y de movimiento; truncación de la jerarquía de momentos, diferentes regímenes y modelos: el modelo de dos fluidos, el modelo frío y sin colisiones, correcciones térmicas; modelos de un solo fluido, modelo hidromagnético no colisional.

### **7. La ley de Ohm generalizada:**

Deducción de la ley de Ohm, la conductividad de un plasma en un campo magnético, efectos de contornos, conductividad de un gas débilmente ionizado.

### **8. La Magnetohidrodinámica (MHD):**

Las ecuaciones generales de la MHD, ecuación de la energía; conductividad térmica y viscosidad de un plasma; número de Reynolds, número de Reynolds magnético, difusión de campos magnéticos; el teorema de la energía; el teorema del virial; presión y tensiones magnéticas.

### **9. La MHD ideal:**

Conservación del flujo magnético y congelación de las líneas del campo magnético; conservación de la vorticidad. MHD incompresible, las ecuaciones de Elsasser, soluciones de equipartición, configuraciones libres de fuerzas, su decaimiento por efecto de la resistividad

### **10. Aplicaciones de la MHD:**

Equilibrio de una mancha solar, capas neutras; el efecto pinch, equilibrio y dinámica de un Z-Pinch, discusión de sus principales inestabilidades; el Theta Pinch, inestabilidades de intercambio, condición de estabilidad; estabilidad de campos magnéticos torsionados. Ondas MHD en un plasma infinito y homogéneo: modo de Alfvén, modo rápido y modo lento, sus propiedades, velocidad de grupo, superficies de fase y del rayo.

### **11. La Fusión Termonuclear Controlada:**

Nociones básicas, reacciones de fusión, viabilidad de diferentes esquemas para la fusión; el balance energético de un plasma termonuclear, la condición de Lawson, fracción de quemado, confinamiento; Fusión por Inercia y su problemática; Fusión por Confinamiento Magnético, el beta del plasma, condiciones para la ignición; principales problemas físicos: equilibrio, estabilidad, calentamiento, transporte.



## **12. La MHD y la Fusión Termonuclear Controlada:**

Aplicabilidad de la MHD ideal al estudio de las máquinas de fusión magnética; condiciones de contorno para problemas de equilibrio y estabilidad; leyes de conservación globales; toroidalidad, superficies magnéticas, transformada rotacional, cantidades superficiales; factores de mérito de equilibrios MHD toroidales: el beta, el factor de seguridad kink, la transformada rotacional y el factor de seguridad MHD, los parámetros de cizalla y de pozo magnético.

## **13. Equilibrio MHD:**

Grados de libertad del equilibrio estático; los problemas fundamentales del equilibrio toroidal; casos límite: configuraciones con campo magnético puramente poloidal y puramente toroidal; el equilibrio de configuraciones unidimensionales; el Theta Pinch, el Z-Pinch y el pinch torsionado: sus parámetros y factores de mérito.

## **14. Estabilidad MHD ideal:**

Consideraciones generales; planteo general de la estabilidad de una configuración de equilibrio estático; análisis de los modos normales; hermiticidad del operador de fuerza generalizada, sus consecuencias, espectro de los modos; el método variacional y la formulación variacional de la estabilidad MHD; el Principio de la Energía y sus extensiones, efectos estabilizantes y desestabilizantes, el rol de la incompresibilidad; clasificación de las inestabilidades: modos internos y externos, modos debidos al gradiente de presión, modos de intercambio, modos "ballooning"; modos debidos a la corriente, modos kink internos y externos; síntesis de los resultados de estudios de estabilidad en los Tokamaks, criterios de estabilidad para los diferentes modos.

## **15. Efectos de resistividad sobre la estabilidad MHD:**

Las inestabilidades resistivas y su importancia para la fusión; características fundamentales de las inestabilidades resistivas; superficies magnéticas, efecto de la resistividad sobre el acoplamiento plasma-campo magnético, la reconexión de las líneas del campo magnético, extensión de la región de reconexión, escalas temporales del fenómeno; principales tipos de modos resistivos y sus características; el modo "rippling"; el modo de intercambio gravitacional; el modo "tearing" y la formación de islas magnéticas.

## **16. Teoría de órbitas:**

El plasma de centros de guía; momento magnético y corriente de magnetización, diamagnetismo del plasma; invariancia adiabática del momento magnético, efecto de las colisiones, la girorelajación; el efecto de espejo magnético, confinamiento en espejos magnéticos, el cono de pérdidas; derivas del centro de guía, deriva eléctrica, deriva de polarización, deriva de la fuerza externa, deriva de curvatura y deriva del gradiente del campo magnético; corrientes asociadas con las deri-



vas; el equilibrio toroidal desde el punto de vista de la teoría de órbitas, necesidad de la transformada rotacional; la inestabilidad de Rayleigh-Taylor; el invariante longitudinal, efectos de aceleración de partículas cargadas, el mecanismo de Fermi para la aceleración estocástica; la deriva del gradiente de presiones; ondas de deriva en un plasma con gradientes de densidad.

#### **17. Procesos colectivos y efectos discretos en un plasma, Teoría de fluctuaciones:**

Fluctuaciones, oscilaciones de plasma, el modelo de Bohm y Pines, oscilaciones no lineales de un plasma frío. Correlaciones dinámicas, solución formal, propagador de correlaciones, función de Green, auto correlación de densidad, factor de forma dinámico, difusión de ondas electromagnéticas, mediciones del espectro de difusión, difusión de ondas de radio desde la ionosfera.

#### **18. Perturbaciones electrostáticas en un plasma de Vlasov sin campo magnético:**

Teoría lineal de las perturbaciones de un plasma en equilibrio Maxwelliano, relación de dispersión, teoría de Landau, problema de valores iniciales, función dieléctrica compleja, cargas inducidas y apantallamiento, amortiguamiento de Landau, mecanismos físicos, atrapamiento de partículas por una onda, microinestabilidades.

#### **19. Soluciones de la ecuación de correlación de pares**

Cálculo de la correlación de pares en el equilibrio térmico, ecuación de estado y funciones termodinámicas de un plasma, teoría del factor de forma estático, hipótesis adiabática de Bogoliubov, solución de la ecuación para el propagador de correlaciones.

#### **20. Teoría de los procesos de relajación en plasmas:**

Colisiones, cálculo de la integral de colisiones de Landau, derivación de la ecuación de Balescu-Lenard, efectos dieléctricos, propiedades de conservación de los términos de colisiones, las ecuaciones del tipo de Fokker-Planck, nociones sobre la teoría cuasi lineal para las microinestabilidades.

#### **Bibliografía:**

- Artsimovich, L. A., *Controlled Thermonuclear Reactions*, Gordon and Breach, New York, 1964.
- Balescu, R. *Transport Processes in Plasmas*, North Holland, Amsterdam, 1988.
- Freidberg, J. P., *Ideal Magnetohydrodynamics*, Plenum, New York, 1987.
- Ichimaru, S. *Basic Principles of Plasma Physics*, Benjamin, London, 1973.
- Ichimaru, S., *Plasma Physics*, Benjamin, Menlo Park, Cal., 1986.
- Krall, N. A., Trivelpiece, A. W., *Principles of Plasma Physics*, McGraw-Hill, New York, 1973.
- Kunkel, W. B., *Plasma Physics in Theory and Application*, McGraw-Hill, New York, 1966.
- Lifshitz, E. M., Pitaevskii, L. P., *Physical Kinetics*, Vol 10 del *Course of Theoretical Physics* de Landau y Lifshitz, Pergamon, Oxford, 1981.

Manheimer, W. M., Lashmore-Davies, C. N., *MHD and Microinstabilities in Confined Plasma*, Adam Hilger, N. Y., 1989.  
Melrose, D. B., *Instabilities in Space and Laboratory Plasmas*, Cambridge, N. Y., 1986.  
Rosenbluth, M. N., Sagdeev, R. Z., Eds., *Basic Plasma Physics*, North Holland, Amsterdam, 1983.

Firma del Profesor:

Aclaración de Firma: Dr. Julio Gratton

Firma del Director:



Dr. PEDRO FEDERMAN  
DIRECTOR ADJUNTO  
DEPARTAMENTO DE FISICA

14 SET 1993