

Escuela José Antonio Balseiro 2022

“Magnetismo y Materiales Magnéticos”

Profesor Responsable: Dr. Alejandro Butera

Comité Organizador:

Alejandro Butera, Javier Curiale, Emilio De Biasi, Javier Gómez, Mara Granada, Enio Lima Jr., Julián Milano, Carlos Ramos, Martín Saleta, Martín Sirena, Dina Tobia, Elin Winkler, Roberto Zysler.

Estructura de los cursos:

La duración de la Escuela será de 4 semanas, de lunes a viernes.

La escuela tendrá una estructura de 6 módulos de clases de aula durante las 3 primeras semanas, y una pasantía en un laboratorio del Centro Atómico Bariloche durante 2 días de la tercera semana y 4 días la cuarta semana. Las clases de aula tendrán duración de 4 horas, comprendiendo una parte teórica y una parte de resolución de ejercicios, excepto el Módulo 6 que tendrá formato de conferencias. La pasantía en laboratorios del CAB podrán consistir en la realización de experimentos, el procesamiento de datos experimentales obtenidos en grandes instalaciones (neutrones, sincrotrón) o simulaciones numéricas.

La evaluación final de la escuela consistirá en la presentación en formato de póster del trabajo realizado durante la pasantía en un Laboratorio y un examen escrito de los contenidos de los módulos teóricos. Estas actividades de evaluación tendrán lugar el viernes de la última semana.

Las temáticas propuestas para los módulos de clases son las siguientes:

Módulo 1: Magnetismo de la Materia Condensada: aspectos básicos (5 clases)

Módulo 2: Magnetismo de la Materia Condensada: aspectos avanzados (5clases)

Módulo 3: Magnetismo en películas delgadas (5 clases)

Módulo 4: Magnetismo en nanopartículas (5 clases)

Módulo 5: Espectroscopia de Resonancia Magnética (3 clases)

Módulo 6: Técnicas experimentales en Magnetismo (3 clases)

Se propone el siguiente cronograma.

	Semana 1	Semana 2	Semana 3		Semana 4	
			3 días	2 días	4 días	viernes
Mañana (de 8:30 a 12:30)	Módulo 1	Módulo 3	Módulo 5	Prácticas de laboratorio	Prácticas de laboratorio	Examen módulos teóricos
Tarde (de 14:30 a 18:30)	Módulo 2	Módulo 4	Módulo 6	Prácticas de laboratorio	Prácticas de laboratorio	Presentación de pósters y cierre

Breve descripción del contenido de los módulos

Módulo 1: Magnetismo de la Materia Condensada: aspectos básicos (5 clases). Responsables: Roberto Zysler y Carlos Ramos.

- Momento magnético y momento angular. Precesión. El magnetón de Bohr.
- Átomos magnéticos: tabla periódica. Series de transición.
- El estado fundamental de un ión. Reglas de Hund.
- El ión magnético en un medio material: campo cristalino. “Quenching” orbital. El efecto Jahn-Teller. Campo cristalino débil, moderado y fuerte. Electrones 3d y 4f.
- Paramagnetismo. Tratamiento semiclásico del paramagnetismo. La función de Brillouin.
- Interacciones entre iones magnéticos. Materiales magnéticamente concentrados: Ferromagnetismo, Antiferromagnetismo, Ferrimagnetismo. Modelo de Weiss.

Módulo 2: Magnetismo de la Materia Condensada: aspectos avanzados (5 clases). Responsable: Rodolfo Sánchez.

- Momentos magnéticos deslocalizados: gas de Fermi, ferromagnetismo itinerante de bandas, modelo de Stoner, electrones interactuantes, líquido de Fermi, concepto de masa efectiva.
- Momentos magnéticos localizados: reglas de Goodenough-Kanamori, superintercambio. Antiferromagnetismo.
- Dinámica de electrones. Distintos mecanismos de *scattering*, transporte electrónico en metales y aleaciones magnéticas, transporte en óxidos magnéticos.
- Transición de un aislante antiferromagnético a metal. Efecto de llenado de bandas, transición de Mott, efecto de correlaciones fuertes, aisladores de transferencia de carga.
- Manganitas, doble intercambio, magnetoresistencia, separación de fases electrónicas.
 - Materiales multiferroicos, mecanismos microscópicos para explicar la coexistencia de orden magnético con orden eléctrico, interfases, acople magnetoeléctrico.

Módulo 3: Magnetismo en películas delgadas (5 clases). Responsable: Alejandro Butera

- Anisotropía magnética en películas. Efectos de la superficie en *films* únicos y bicapas magnéticas. Efectos magnetoelásticos. Efectos de rugosidad e interdifusión. Determinación de la constante de anisotropía efectiva.
- Dominios Magnéticos. Modelos para la estimación del tamaño de los dominios de las paredes de dominio. Tipos de paredes de dominio en *films*. Dinámica de paredes de dominio.

- Magnetismo en *films* y multicapas. Influencia de las interfaces. Acople a través de un espaciador. Espaciadores magnéticamente ordenados.
- Magnetorresistencia (MR) en *films* y multicapas. Modelos fenomenológicos y sistemas en los que se observa. Dependencia con los distintos parámetros de fabricación. Transporte electrónico y de espín en interfaces. Tensión de acumulación de espín. Resistencia de interfaz. Modelos de Jullière y Slonczewski para MR túnel.
- Fenómenos asociados a corrientes de espín. Corrientes de carga y corriente pura de espín. Efecto Hall de *Spin* (SHE) y Efecto Hall de *Spin* Inverso (ISHE). Transferencia de momento angular de espín en juntas magnéticas. Modelo fenomenológico de *spin torque*. Emisión de microondas. Aplicaciones en memorias MRAM.

Módulo 4: Magnetismo en nanopartículas (5 clases). Responsable: Emilio De Biasi.

- Anisotropía Magnética. Anisotropía magnetocristalina, anisotropía magnetoelástica, anisotropía dipolar o de forma. Anisotropía de intercambio.
- Partículas Finas 1: Monodominio magnético. Inversión de la magnetización, superparamagnetismo. Partículas no interactuantes: teoría de Stoner-Wohlfarth. Relajación de la magnetización: magnetización como función del tiempo, temperatura y campo magnético aplicado.
- Partículas Finas 2: Sistema de partículas interactuantes: evidencias experimentales y modelos propuestos al momento. Efecto de anisotropía de superficie e intercambio en la anisotropía efectiva. Orden magnético interno en nanopartículas. Sistemas bimagnéticos *core/shell*.
- Aplicaciones en física médica, imanes permanentes, catálisis.

Módulo 5: Espectroscopia de Resonancia Magnética (3 clases). Responsable: Elin Winkler.

- El fenómeno de Resonancia Paramagnética Electrónica (EPR). Cuantificación del momento angular. Absorción de energía e intensidad de la señal de resonancia. Equilibrio térmico y relajación espín-red. El experimento de EPR. Espectrómetro básico de EPR, diferentes frecuencias de trabajo. Caracterización de un espectro de EPR: intensidad, factor g, ancho y forma de línea, estructura de multipletes. Efectos de condiciones instrumentales: modulación y potencia de microondas.
- Interacciones que afectan el espectro de EPR: interacción hiperfina y campo cristalino. Ejemplos de aplicación: radicales libres e impurezas paramagnéticas en sólidos cristalinos. Efecto de la interacción dipolar e interacción de intercambio en la resonancia: Dependencia del ancho de línea con las interacciones y evolución del espectro con la temperatura.
- Resonancia Ferromagnética (FMR). Formulación general. Derivación de la ecuación de resonancia. Determinación de campos locales, anisotropías magnéticas y simetrías espaciales a través de FMR. Ejemplos de aplicación: Películas delgadas e hilos ferromagnéticos.

Módulo 6: Técnicas experimentales en magnetismo (3 clases)

- Magnetometría.
- Microscopía de fuerza atómica (AFM), de fuerza magnética (MFM) y de conducción (CAFM).
- Sensores magnéticos.
- Técnicas neutrónicas para caracterización de materiales magnéticos.
- Técnicas de luz sincrotrón para caracterización de materiales magnéticos.
- Microscopía magnetoóptica.
- Medición de corrientes de espín.

6: Número estimado de estudiantes:

Se espera contar con 25 estudiantes, que pueden ser estudiantes de grado en etapa avanzada o de posgrado en etapa inicial. El curso estará orientado a estudiantes con formación en Física, Química, Ingeniería, Ciencia de Materiales o afín.

7: Otros

El objetivo de la Escuela es que las personas participantes adquieran sólidos conocimientos básicos de Magnetismo y Materiales Magnéticos, y a su vez que puedan enterarse de los fenómenos y desarrollos más recientes en el área. Para esto, los módulos teóricos contarán con una primera parte más básica y se reservará parte del curso para exponer tópicos actuales en los distintos tipos de materiales. Para complementar los aspectos de materiales y fenómenos físicos de los módulos anteriores, el Módulo 6 estará dedicado a exponer Técnicas Experimentales modernas que se emplean para el estudio de Materiales Magnéticos.