

EX-2026-00088647- -UNC-ME#FAMAF

PROGRAMA DE ASIGNATURA	
ASIGNATURA: Hamiltonianos Promedio en Resonancia Magnética	AÑO: 2026
CARÁCTER: Especialidad	UBICACIÓN EN LA CARRERA: 5° año 1° cuatrimestre
CARRERA: Licenciatura en Física	
RÉGIMEN: Cuatrimestral	CARGA HORARIA: 120 horas

FUNDAMENTOS Y OBJETIVOS

En el campo de la RMN se ha aprendido a controlar las interacciones mediante métodos sofisticados, entre ellos las secuencias multi-pulsos. Se pretende describir sistemas de partículas con espín y cómo cambia el sistema en el tiempo a través de operaciones unitarias del operador densidad bajo la acción de un Hamiltoniano. Realizaremos experimentos en los que la ecuación de Schrödinger dependiente del tiempo es controlada externamente. Estos procedimientos se describen en términos de la teoría de Hamiltoniano promedio. Se discutirá la excitación y evolución de coherencias de cuantos múltiples. El objetivo es tener recursos conceptuales para abordar trabajos actuales de interés.

CONTENIDO

Unidad 1

Dinámica de sistemas de espines nucleares. Ecuaciones de movimiento. Operador densidad. Representación de Schrödinger y Heisenberg. Espacio de operadores de Liouville. Productos de operadores de espín. Transformaciones para un cambio de fase por pulsos de radio frecuencia. Transformaciones bajo la acción de términos bilineales. Operadores de transición. El Hamiltoniano de espín nuclear.

Unidad 2

Manipulación de Hamiltonianos de espines nucleares. Teoría de Hamiltoniano promedio. Promediación por perturbaciones dependientes del tiempo. Interacciones cíclicas. Truncamiento de Hamiltonianos internos. Expansión de Magnus.

Unidad 3

Descripción cuántica de espectroscopía Fourier. Sistemas de no equilibrio. Operadores productos de espines. Transiciones de cuantos múltiples. Dinámica de cuantos-múltiples. Recorriendo el espacio de Liouville.

Unidad 4

Discusión de secuencias multi-pulsos en RMN: FID, Eco de Hahn, secuencia de



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba



FAMAF
Facultad de Matemática,
Astronomía, Física y
Computación

Carr-Purcell.

Secuencias para RMN de alta resolución en sólidos: WAHUHA; MREV. Análisis en la terna rotante.

Unidad 5

Reversión temporal. Eco mágico. Ecos de Loschmidt. Secuencias ME, dipolar revertida, DQ

(double quantum) revertida. Escaneo de interacciones. Fourier 2D.

Unidad 6

Laboratorios: se realizarán cuatro prácticas de laboratorio en las cuales los alumnos deberán adquirir conocimiento en la programación de secuencias de pulsos, control de fases de pulsos de radiofrecuencia, análisis de propagación de errores por acumulación de fases y realización de experimentos de reversión temporal con análisis de coherencias cuánticas múltiples y su aplicación en caracterización de sistemas complejos.

Unidad 7

Simulaciones numéricas en lenguaje Matlab para implementar secuencias de reversión en sistemas de pocos espines (molécula simplificada de cristal líquido) . Ecos con perturbaciones de fases. Transformación Fourier y decodificación de las coherencias de cuántos múltiples (MQC).

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

- Ernst, Bodenhausen and Wokaun, "Principles of Nuclear Magnetic Resonance in one and two dimensions", International Series of monographs on Chemistry 14, Oxford Science Publications, 1987
- Munowitz, "Coherence and NMR", John Wiley & Sons, 1988
- Haeberlen, "High resolution NMR in solids, selective averaging", Advance in Magnetic Resonance, Academic Press, 1976.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- Mehring, "Principles of High resolution NMR in solids", Springer-Verlag, second edition, 1983.
- Slichter, "Principles of Magnetic Resonance", Springer-Verlag, third edition, 1990.
- Baum, Munowitz, Garroway, Pines , "Multiple quantum dynamics in solid state NMR", J. Chem. Phys. 83 (5) pg 2015.

Artículos de revisión:

- Krojanski, Suter, "Reduced decoherence in large quantum registers", Phys. Rev. Lett. 97, 150503, (2006)
- Zhang, Meier, Ernst, "Polarization echoes in NMR", Phys. Rev. Lett. Vol 69, N 14, 1992
- Suter, Liu, Baum, Pines, "Multiple quantum NMR excitations with a one-quantum

**UNC**Universidad
Nacional
de Córdoba**FAMAF**Facultad de Matemática,
Astronomía, Física y
Computación

Hamiltonian”, Chemical physics 114, (1987), 103-109.

- Krojanski, Suter, “Decoherence in large NMR quantum registers”, Phys. Rev. A. 74, 062319, (2006)

- Munowitz, Pines, “Multiple quantum Nuclear magnetic resonance spectroscopy”, Science, articles, vol 233, pg 525, 1986

- Brinkmann, "Introduction to Average Hamiltonian theory", Wiley, DOI: 10.1002/cmr.a.21414

METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA

Las clases teóricas se trabajarán en el aula en pizarrón en base a la bibliografía y analizaremos diferentes publicaciones científicas. Hay guías de problemas donde se resolverán las transformaciones analizadas para implementar diferentes secuencias de pulsos. Los laboratorios se realizarán en los equipos de Resonancia del Lanais. Implementaremos diferentes secuencias en muestras sólidas y cristal líquido en fase nemática. Para el análisis de datos se usarán programas en Matlab. También se realizarán simulaciones numéricas de experimentos de reversión para el análisis de experiencias de Coherencias de múltiples cuántos.

EVALUACIÓN

FORMAS DE EVALUACIÓN

Los estudiantes presentarán informes con el análisis de datos de las experiencias (4) de laboratorio y para la promoción realizarán una exposición oral de una publicación científica relativa al tema.

REGULARIDAD

1. Cumplir un mínimo de 70% de asistencia a clases teóricas, prácticas, o de laboratorio.
2. Aprobar al menos el 60% de los Trabajos Prácticos o de Laboratorio.

PROMOCIÓN

1. Cumplir un mínimo de 80% de asistencia a clases teóricas, prácticas, o de laboratorio.
2. Aprobar todos los Trabajos Prácticos o de Laboratorio, o el Informe Final de la Práctica de la Enseñanza con una nota no menor a 6 (seis).
3. Aprobar un coloquio.

CORRELATIVIDADES

Para cursar: Mecánica cuántica II (Regularizada).

Para rendir: Mecánica Cuántica II (Aprobada).