



Universidad
Nacional
de Córdoba



Facultad de Matemática,
Astronomía, Física y
Computación

EXP-UNC 0029492/2019

Anexo de la RCD FAMAF 193/2019, página 17 de 66

TÍTULO: Decoherencia y relajación en sistemas cuánticos abiertos			
AÑO: 2019	CUATRIMESTRE: 2°	N° DE CRÉDITOS: 3	VIGENCIA: 3 años
CARGA HORARIA: 60 horas de teoría y 30 horas de práctica.			
CARRERA/S: Doctorado en Física			

FUNDAMENTOS

Este es un tema de mucho interés en un campo muy amplio que va desde los fundamentos de la Mecánica Cuántica y la Mecánica Estadística, hasta el diseño de dispositivos cuánticos para el procesamiento de la información, y que involucra muchas técnicas experimentales, siendo la RMN una de las principales, junto con la óptica cuántica.

El concepto de decoherencia cuántica aún no es comunicado en los textos contemporáneos en un lenguaje unificado, ni se discute claramente la diferencia esencial entre decoherencia adiabática y relajación o termalización. Otra característica del tema, que a la vez resulta en una motivación, es que la teoría de la decoherencia de partículas cuánticas interactuantes está actualmente en desarrollo y no existe todavía una oferta extensa de textos o artículos de revisión que aborden este enfoque. Este aspecto es de mucho interés en el campo de la RMN del estado sólido, ya que la decoherencia se presenta como un camino posible para explicar la evolución irreversible de espines fuertemente interactuantes. Actualmente ha surgido también en el campo de la información cuántica interés por el estudio de la correlación cuántica de sistemas multi-qubits en presencia de ambientes cuánticos. Más generalmente, la decoherencia es también vista como un elemento teórico clave en la búsqueda de la descripción de la emergencia del mundo clásico desde el mundo cuántico.

En cuanto a la relajación, el objetivo es describir dos ejemplos relevantes de evolución hacia el equilibrio de un sistema en contacto térmico con un reservorio, mediante ecuaciones maestras del operador densidad: RMN y óptica cuántica. La idea es inferir la dinámica en el contexto de semigrupos dinámicos, mostrando la forma general que deben tener estas ecuaciones. Luego, en el caso de la RMN planteamos introducir el límite de orden débil ("alta temperatura") para cubrir un amplio espectro de casos donde esta aproximación es realista.

La estrategia general del curso se basa en aportar definiciones y ejemplos provenientes de diferentes campos, algunos solubles analíticamente, con la intención de discutir de forma general la dinámica de las partículas cuánticas acopladas con un ambiente también cuántico. Se pondrá énfasis en las diferentes escalas de tiempo involucradas en la decoherencia y la relajación térmica, como procesos microscópicos que definen diferentes etapas del tránsito del sistema observado hacia el equilibrio con el ambiente. Con este propósito, el estudio se encarará desde dos puntos de vista: i) decoherencia cuántica adiabática de primeros principios y ii) ecuaciones maestras. Se discutirá la aplicabilidad de los distintos enfoques.

OBJETIVOS

El objetivo del curso es incorporar herramientas teóricas básicas para describir los procesos de decoherencia y relajación en sistemas de partículas interactuantes, tratados como

df



Universidad
Nacional
de Córdoba



Facultad de Matemática,
Astronomía, Física y
Computación

EXP-UNC 0029492/2019

Anexo de la RCD FAMAF 193/2019, página 18 de 66

sistemas cuánticos abiertos, tanto para sistemas pequeños como para sistemas de tamaño macroscópico. Se pretende mostrar que los procesos irreversibles que sufren estos sistemas a lo largo de toda la escala de tiempo observable, pueden ser interpretados mediante una adecuada definición de los sistemas intervinientes y los Hamiltonianos que los representan, en el contexto de la mecánica cuántica conocida. Así, se espera, en general, que el curso brinde una introducción y motivación para adentrarse en el desafiante problema de describir el comportamiento macroscópico a partir de la física a nivel microscópico. En particular, se pretende que el alumno se familiarice con el cálculo de tasas de decoherencia y relajación de distintos sistemas físicos.

PROGRAMA

Unidad 1: Revisión del formalismo y conceptos básicos de mecánica cuántica

Conjunto completo de observables. Estados puros y mezclas estadísticas.

Formalismo del operador densidad. Ecuación de Liouville-Von Neumann. No-separabilidad y correlación de sistemas cuánticos después de una interacción. Entrelazamiento y correlaciones en sistemas compuestos bipartitos puros. La matriz densidad reducida. Aplicación a sistemas de dos partículas con espín $\frac{1}{2}$.

Unidad 2: Dinámica del operador densidad reducido

Acople del sistema observado con un ambiente. Decoherencia. Significado físico. El factor de decoherencia. Evolución de un sistema finito cuasi-aislado. Irreversibilidad y pérdida de información. El problema de la medición en cuántica. Surgimiento de propiedades clásicas a través de la interacción con el ambiente.

Unidad 3: Decoherencia inducida por el acople con el ambiente. Un modelo soluble exactamente

Atenuación de la coherencia sin decaimiento de poblaciones. Evolución temporal del sistema completo. Decoherencia de un sistema de espines no interactuantes en un campo magnético, mediada por bosones: modelo espín-bosón. Análisis de los regímenes: tiempos cortos ("quiet regime"), fluctuaciones del vacío y fluctuaciones térmicas. Discusión de la decoherencia de un sistema de pares de espines débilmente interactuantes.

Unidad 4: Procesos de decoherencia y relajación cuánticos markovianos

Semigrupos dinámicos, la ecuación maestra markoviana cuántica. Formulación de Lindblad. Derivación microscópica de la ecuación maestra markoviana. Ecuación maestra de la óptica cuántica. Transiciones espontáneas e inducidas. Fluctuaciones del vacío. Decaimiento de un sistema de dos niveles utilizando la ecuación maestra óptica. Ecuación maestra de la RMN. Análisis del límite de altas temperaturas o acople débil. Teorías de Bloch- Wangsness y Redfield.

Unidad 5: Aplicación de las teorías de relajación espín-red markovianas en líquidos, cristales líquidos y sólidos

Relajación Zeeman en líquidos debida a fluctuaciones del acople dipolar de espines iguales. Cálculo de T_1 y T_2 en función de densidades espectrales. Funciones de correlación de

df



Universidad
Nacional
de Córdoba



Facultad de Matemática,
Astronomía, Física y
Computación

EXP-UNC 0029492/2019

Anexo de la RCD FAMAF 193/2019, página 19 de 66

movimientos moleculares individuales: difusión rotacional y traslacional. Ejemplos e interpretación física de la densidad espectral. Contribuciones a T2 de los procesos adiabáticos de "pure dephasing" y no-adiabáticos o "termalización". Relajación Zeeman en sólidos. Relajación Zeeman en cristales líquidos. Relajación de estados de cuasi-equilibrio dipolar en sólidos y cristales líquidos nemáticos. Secuencia de Jeener-Broekaert para la creación de estados de cuasi-equilibrio dipolares. Discusión detallada de todas las etapas del experimento siguiendo la evolución del operador densidad. Definición del tiempo de relajación del orden dipolar T1D. Cálculo de T1D para un sistema de pares débilmente interactuantes.

Unidad 6: Teorías de la forma de la línea

El caso adiabático. Teoría de Anderson-Weiss. Límites de movimientos rápidos y lentos. El caso no adiabático. Ancho de línea y tiempo de relajación transversal. Caso general. Forma de línea del espectro de coherencia simple y doble en sólidos hidratados bajo la aproximación de pares débilmente interactuantes. Cálculo del segundo momento de la FID.

PRÁCTICAS

Resolución de problemas en clase y en forma de tarea para la casa

BIBLIOGRAFÍA

H.P. Breuer and F. Petruccione The Theory of Open Quantum Systems, (Oxford University Press 2002).

K. Blum: Density Matrix Theory and Applications (3thd Edition Springer Series on Atomic, Optical, and Plasma Physics, 2011).

A. Rivas, S. Huelga, Open Quantum Systems. An Introduction, Springer Briefs in Physics (Springer 2011).

A. Abragam The Principles of NMR (Oxford U.P. London 1961)

M. Schlosshauer Decoherence and the Quantum to Classical Transition (Springer 2007).

MODALIDAD DE EVALUACIÓN

Aprobación de problemas deber durante el curso.

Coloquio final integrador sobre todos los temas del programa.

Exposición de un seminario basado en una publicación (o conjunto de ellas) representativo de los contenidos del curso.

REQUERIMIENTOS PARA EL CURSADO

Conocimientos de termodinámica, mecánica estadística, mecánica cuántica.

df