



Universidad
Nacional
de Córdoba



FAMAF
Facultad de Matemática,
Astronomía, Física y
Computación

EX-2023-00247117- -UNC-ME#FAMAF

PROGRAMA DE ASIGNATURA	
ASIGNATURA: Decoherencia y Relajación en Sistemas Cuánticos Abiertos.	AÑO: 2023
CARACTER: Especialidad	UBICACIÓN EN LA CARRERA: 5° año 1° cuatrimestre
CARRERA: Licenciatura en Física	
REGIMEN: Cuatrimestral	CARGA HORARIA: 120 horas

FUNDAMENTACIÓN Y OBJETIVOS

El curso se fundamenta en la necesidad de introducir conceptos y herramientas para describir la dinámica cuántica de sistemas observados que interactúan con ambientes que en muchos casos deben ser tratados cuánticamente. Esta problemática está presente en numerosos campos de la física, siendo la RMN y la Óptica Cuántica dos de los más importantes.

La estrategia general del curso se basa en aportar conceptos, definiciones y ejemplos provenientes de diferentes campos, algunos solubles analíticamente, con la intención de introducir la problemática general de la dinámica de sistemas cuánticos acoplados con un ambiente. Allí es donde surgen los conceptos de decoherencia y relajación o termalización como procesos irreversibles, consecuencia de la correlación que se establece entre sistema observado y ambiente en distintas escalas de tiempo; estos procesos gobiernan la evolución completa de un estado cuántico inicial de un sistema observado hasta el equilibrio termodinámico final.

El objetivo es lograr familiaridad con los conceptos de decoherencia y relajación, como dos clases de procesos irreversibles asociados con la dinámica cuántica de sistemas abiertos, y que ocurren en escalas de tiempo diferenciadas, en donde el rol del acople sistema-ambiente puede cambiar drásticamente a lo largo de la evolución hacia el equilibrio. Éste es un tema de gran interés en un campo muy amplio que va desde los fundamentos de la Mecánica Cuántica y la Mecánica Estadística, hasta aplicaciones como el diseño de dispositivos de procesamiento de información cuántica, metrología cuántica, y que involucra muchas técnicas experimentales.

CONTENIDO

Unidad I. Revisión de algunos conceptos básicos de mecánica cuántica:

Conjunto completo de observables compatibles. Estados puros y mezclas estadísticas. El operador densidad y sus propiedades. Ecuación de Liouville-Von Neumann. Sistemas compuestos. No-separabilidad y correlación de sistemas cuánticos debidos a la interacción. Entrelazamiento cuántico y correlaciones en sistemas compuestos bipartitos puros. Descripción del subsistema observado en términos del operador densidad reducido. Ejemplo: sistema de dos partículas con espín $\frac{1}{2}$. Argumento de Einstein, Podolsky y Rosen (EPR). Entrelazamiento y no localidad. Desigualdad de Bell.

Unidad II. Sistema cuántico abierto:

Sistema observado – ambiente – reservorio. Acople del sistema observado con un ambiente. Evolución de un sistema finito cuasi-aislado: Irreversibilidad y pérdida de información. Decoherencia adiabática y relajación. Escalas de tiempo.

Unidad III. Decoherencia: Modelos solubles exactamente:

Atenuación adiabática de la coherencia por interacción con un ambiente (sin intercambio de energía entre el sistema y el ambiente). Modelo espín-bosón: decoherencia de un sistema de espines no interactuantes en un campo magnético, mediada por bosones. Análisis de los regímenes: tiempos cortos (“quiet regime”), fluctuaciones del vacío y fluctuaciones térmicas. Decoherencia mediada por fonones de un modelo de pares de espines interactuantes a través del Hamiltoniano dipolo-dipolo. Discusión de las causas de la decoherencia en estos ejemplos.



Universidad
Nacional
de Córdoba



FAMAF
Facultad de Matemática,
Astronomía, Física y
Computación

EX-2023-00247117- -UNC-ME#FAMAF

Aplicación al estudio de la decoherencia en sólidos hidratados.

Unidad IV: La ecuación markoviana cuántica:

Semigrupos dinámicos, ecuación maestra markoviana cuántica. Formulación de Lindblad. Derivación microscópica: ecuación de Born-Markov. Ecuación maestra de la óptica cuántica. Transiciones espontáneas e inducidas. Fluctuaciones del vacío. Ecuación maestra de la RMN. Formulaciones de Bloch, Redfield, Hubbard. Análisis del límite de altas temperaturas o acople débil. Formulación de Abragam.

Unidad V: Aplicación de la ecuación markoviana:

- Decaimiento de un sistema de dos niveles en presencia de bosones, utilizando la ecuación maestra de la óptica cuántica.
- Relajación Zeeman en RMN de líquidos. Funciones de correlación de movimientos moleculares individuales. Interpretación física de la densidad espectral. Cálculo de T1 y T2 en función de densidades espectrales. Contribuciones a T2 de procesos adiabáticos “pure dephasing” y no-adiabáticos o “termalización”.
- Relajación espín-red en sólidos bajo hipótesis de temperatura de espín (cuasi-equilibrio). Discusión de la propuesta histórica de “termodinámica de espines”.
- Interacción entre átomos o moléculas con campos electromagnéticos en presencia de procesos de relajación. Aplicación al laser.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

- 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).
- C. Cohen-Tannoudji, B. Diu, F. Laloe Quantum Mechanics, Vol. 1, 2020.
- 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).
- Artículos básicos, de revisión y de lectura. Algunos de ellos son:
- H.D. Zeh, Roots and Fruits of Decoherence, Seminaire Poincare 1, 115-129 (2005)
- W. Zurek, Decoherence and the transition from quantum to classical , Physics Today, October 1991.
- D. Mozyrsky and V. Privman, Adiabatic Decoherence, J. Stat. Phys. 91, 787 (1998).
- W. H. Zurek, Decoherence, einselection, and the quantum origins of the classical, Rev. Mod. Phys. 75, 715 (2003).
- V.I. Yukalov, Equilibration of quasi-isolated quantum systems, Phys. Lett. A 376, 550 (2012).
- S. Deffner, Ten years of Nature Physics: From spooky foundations, Nature Physics 11, 383 (2015).
- D.C. Look and I.J. Lowe Nuclear Magnetic Dipole-Dipole Relaxation Along the Static and Rotating Magnetic Fields: Application to Gypsum, J. Chem. Phys. 44 (1966).
- D. Chruscinsky and S. Pascazio A Brief History of the GKLS Equation, Open Systems & Information Dynamics 24 1740001 (2017) arXiv:1710.05993v2

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

Durante el cursado se agregarán artículos de interés temático en el aula virtual de la materia

EVALUACIÓN

FORMAS DE EVALUACIÓN

- Resolución de problemas deber durante el curso: tres instancias
- Examen oral final integrador sobre todos los temas del programa, o



Universidad
Nacional
de Córdoba



FAMAF
Facultad de Matemática,
Astronomía, Física y
Computación

EX-2023-00247117- -UNC-ME#FAMAF

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

REGULARIDAD

Cumplir un mínimo de 70% de asistencia a clases teóricas y prácticas.

PROMOCIÓN

Sin régimen de promoción

CORRELATIVIDADES

Para cursar: (regularizadas) Mecánica Cuántica I y Termodinámica y Mecánica Estadística II

Para Rendir: (aprobadas) Mecánica Cuántica I y Termodinámica y Mecánica Estadística II