



PROGRAMA DE CURSO DE POSGRADO

TÍTULO: Decoherencia en sistemas cuánticos abiertos	
AÑO: 2013	CUATRIMESTRE: 1er
CARGA HORARIA: 60	No. DE CRÉDITOS: 3
CARRERA/S: Doctorado en Física	
DOCENTE ENCARGADO: Ricardo C. Zamar	

PROGRAMA
<p>Unidad I: <u> Sistemas cuánticos cerrados y abiertos</u>: La ecuación de Liouville-Von Neumann. El concepto de superposición coherente de estados. Dinámica de sistemas abiertos. Acople del sistema observado con el ambiente. No-separabilidad y correlación cuántica de sistemas cuánticos después de una interacción. Ejemplo: un sistema de dos partículas de espín 1/2.</p> <p>Unidad II: <u> Dinámica del operador densidad reducido</u>: Decoherencia. Significado físico. La función de decoherencia. Comparación con los procesos de termalización en las teorías de RMN.</p> <p>Unidad III: <u> Un modelo soluble exactamente</u>: Decoherencia de un sistema de dos niveles acoplado a un ambiente de bosones. Decaimiento de la coherencia sin decaimiento de poblaciones. Evolución temporal del sistema completo. Factor de decoherencia. Decoherencia de un sistema de espines no interactuantes en un campo magnético, mediada por fonones. Análisis de los regímenes: de tiempos cortos, del vacío y térmico.</p> <p>Unidad IV: <u> Decoherencia en sistemas fuertemente interactuantes</u>: Decoherencia cuántica adiabática. Definición de acoples <i>cuasi-aislado</i>, <i>cuasi-adiabático</i> y <i>contacto térmico</i>. Distinción entre decoherencia inducida por fluctuaciones térmicas y procesos puramente cuánticos. Decoherencia cuántica esencialmente adiabática. Diferentes escalas de tiempo en la evolución del sistema observado. Irreversibilidad. Decoherencia de espín y cuasi-equilibrio en sistemas con pocos grados de libertad. Aplicación a la RMN de cristales líquidos. Equilibración y termalización. Definiciones y relación con el concepto de cuasi-equilibrio.</p> <p>Unidad V: <u> Procesos markovianos cuánticos</u>: semigrupos dinámicos, la ecuación maestra markoviana cuántica. Irreversibilidad y producción de entropía. La ecuación maestra cuántica óptica. Decaimiento de un sistema de dos niveles.</p> <p>Unidad VI: <u> Ejemplos de decoherencia markoviana cuántica</u>: Movimiento Browniano (sin disipación). EL oscilador armónico amortiguado (disipación). Átomos interactuando con un modo de campo de una cavidad. Interacción de intercambio indirecta entre dos sistemas de dos niveles inducida por un baño de bosones térmicos.</p> <p>Unidad VII: <u> Procesos cuánticos no-markovianos</u>: Técnica de operadores de proyección de Nakajima-Zwanzig. Método de proyectores sin convolución temporal (time convolutionless – TCL). Aplicación al estudio del decaimiento espontáneo de un sistema de dos niveles.</p>



OBJETIVOS

El objetivo del curso es incorporar herramientas teóricas básicas para describir los procesos de decoherencia en sistemas de partículas cuánticas tratadas como sistemas cuánticos abiertos, tanto para sistemas pequeños como para sistemas de tamaño macroscópico. Este es un tema de mucho interés en un campo muy amplio que va desde los fundamentos de la mecánica cuántica 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.

Debido a esta variedad de campos de aplicación, también sucede que el concepto de decoherencia cuántica aún no es comunicado en un lenguaje unificado por parte de los diferentes autores de la literatura contemporánea. Otra dificultad, que a la vez resulta en una motivación, es que el aspecto teórico de la decoherencia de partículas cuánticas *interactuantes* está en desarrollo y no existe todavía una oferta extensa de libros de texto que aborden este enfoque.

La estrategia 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, poniendo de manifiesto las escalas de tiempo involucradas en la decoherencia y su relación con los procesos de relajación térmica. Se pretende sentar las bases para el estudio de decoherencia de partículas fuertemente interactuantes.

El ordenamiento del programa podría resumirse como sigue:

Unidad I: Descripción general de la dinámica de un sistema observado cuántico acoplado con un ambiente, y la definición de decoherencia y su interpretación física. A manera de introducción se discute el concepto de no-separabilidad de sistemas cuánticos interactuantes y se ilustra con un ejemplo de dos partículas con espín $\frac{1}{2}$.

Unidad II: Es un planteo general del concepto de decoherencia, discutiendo el significado físico del fenómeno.

Unidad III: Resolución de un ejemplo soluble analíticamente en el que se excluye el intercambio de energía con la red. En este ejemplo la escala temporal de la decoherencia cuántica se manifiesta en su estado más básico, claramente distinguible de los efectos de termalización. Aquí se puede distinguir la escala temporal donde influyen las fluctuaciones térmicas en la decoherencia. Se logra observar que en distintas escalas de tiempo operan distintos mecanismos de decoherencia, incluso aquel regido por fluctuaciones térmicas. *Se enfatiza que esto último no es relajación a pesar de que esta escala está gobernada por fluctuaciones térmicas.*

Unidad IV: En esta unidad formalizamos el concepto de decoherencia cuántica adiabática, como proceso que ocurre en una escala intermedia entre la interferencia cuántica de un sistema cerrado y la termalización de tiempos largos. Discutimos el proceso de decoherencia irreversible como mecanismo para el alcance del estado de cuasi-equilibrio. También discutimos en este contexto, los conceptos de "equilibración" y termalización" introducidos en la literatura que analiza la fundamentación de la termodinámica por medio de la mecánica cuántica.

Unidad V y VI: El uso de ecuaciones maestra cuánticas para el estudio de la decoherencia está muy difundida en la literatura, por lo que es conveniente su estudio básico, y algunas aplicaciones muy conocidas. El propósito de estas dos unidades es el análisis de las hipótesis involucradas y el alcance de este tipo de descripciones.

Unidad VII: Introducción a los métodos de estudio de procesos cuánticos no-markovianos y su aplicación a un problema conocido. La técnica de proyectores permite generar ecuaciones maestras no-markovianas, que también pueden usarse en relajación espín-red.



BIBLIOGRAFÍA

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

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

E. Joos et al. *Decoherence and the appearance of a classical world in quantum theory* (2nd Edition, Springer, Berlin, 2002).

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

U. Weiss, *Quantum dissipative systems*, (Scientific World 1993)

Artículos básicos, de revisión y de lectura complementaria.

Algunos de ellos son:

W. H. Zurek, *Decoherence, einselection, and the quantum origins of the classical*, Rev. Mod. Phys. **75**, 715 (2003).

M. Schlosshauer, *Decoherence, the measurement problem, and interpretations of quantum mechanics*, Rev. Mod. Phys., **76**, 1267 (2004).

J.P. Paz and W. Zurek, [Environment-Induced Decoherence and the Transition from Quantum to Classical, Springer, 2001](#)

V.I. Yukalov, *Equilibration and thermalization in finite quantum systems*, Laser Phys. Lett. 8, No. 7, 485–507 (2011).

V.I. Yukalov, *Equilibration of quasi-isolated quantum systems*, Phys. Lett. A **376**, 550 (2012).

D. Solenov, D. Tolkunov and V. Privman, *Exchange interaction, entanglement, and quantum noise due to a thermal bosonic field*, Phys. Rev. B **75**, 035134 (2007)

D. Mozyrsky and V. Privman, *Adiabatic Decoherence*, J. Stat. Phys. **91**, 787 (1998).

M. Palma, K. A. Suominen, and A. Ekert, *Quantum Computers and Dissipation*, Proc. R. Soc. London **452**, 567 (1996).

J. M. Raimond, M. Brune, and S. Haroche, *Manipulating quantum entanglement with atoms and photons in a cavity*, Rev. Mod. Phys. **73**, 565 (2001)

MODALIDAD DE LA EVALUACIÓN

- Aprobación de dos parciales y problemas deber durante el curso.
- Exposición de un seminario basado en una publicación (o conjunto de ellas) representativo de los contenidos del curso.
- Examen oral final integrador sobre todos los temas del programa.