

Teoría de la Información Cuántica

Curso de Posgrado

Descripción y objetivos

El tema del curso constituye un área interdisciplinaria que ha adquirido un extraordinario desarrollo en los últimos años, y que comprende conceptos y metodologías radicalmente nuevas para la transmisión y procesamiento computacional de información en base a la Mecánica Cuántica. El curso está orientado al estudio de los aspectos físicos y conceptuales del tema, siendo el objetivo básico familiarizar al alumno con los nuevos enfoques, conceptos y técnicas de la teoría de la información cuántica, que juegan un rol central en la física actual y en el desarrollo de nuevas tecnologías para el procesamiento de la información.

El curso consistirá en dos clases teóricas semanales y una clase semanal de resolución de problemas, totalizando 6 hs semanales y una carga horaria total de 72 hs. La aprobación del curso requiere la resolución y entrega de problemas y, además, la aprobación de un examen final o la preparación de una monografía escrita sobre un tema específico y su exposición oral.

Programa

1. Conceptos básicos.

Qubits (Quantum bits). Esfera de Bloch. Compuertas y Circuitos cuánticos. Paralelismo cuántico. Algoritmos Cuánticos. Algoritmo de Deutsch-Josza. Teorema de la no-clonación cuántica.

2. Entrelazamiento cuántico.

a) Sistemas cuánticos compuestos. Operador densidad global y reducido. Traza parcial. Estados puros y no puros. Descomposición de Schmidt de un estado puro. Entropía de entrelazamiento. Estados de Bell. Desorden global y local. Purificación.

b) Implicancias y aplicaciones del entrelazamiento cuántico. Teleportación cuántica. Codificación superdensa. Desigualdades de Bell. Paradoja EPR.

c) Concepto de entrelazamiento para estados no puros. Criterios de separabilidad. Trasposición parcial. Negatividad. Concurrencia. Entrelazamiento de formación en sistemas de dos qubits.

3. Medidas en Mecánica Cuántica.

Medidas proyectivas. Operadores generales de medida. Medidas POVM. Descripción en términos de interacción. Distinguibilidad de estados. Tomografía de estados cuánticos.

4. Computación Cuántica.

a) Compuertas de un qubit. Compuertas de control (CNOT, etc.). Representación matricial. Compuertas cuánticas universales. Complejidad computacional cuántica.

b) Circuito de Shor para la Transformada de Fourier cuántica. Reducción exponencial del número de pasos. Aplicaciones: Determinación de fase, orden y período. Algoritmo de factorización.

c) Algoritmo de búsqueda de Grover. Visualización geométrica. Reducción cuadrática del número de pasos. Optimalidad del algoritmo.

5. Implementación física.

Condiciones básicas necesarias para la computación cuántica. Representación física de qubits. Realizaciones basadas en fotones ópticos, cavidades ópticas, espines, trampas de iones, resonancia magnética nuclear, etc. Ventajas y desventajas.

6. Ruido Cuántico.

Evolución de sistemas cuánticos abiertos. Representación de Kraus. Decoherencia. Canales cuánticos para un qubit. Tomografía de procesos cuánticos. Teoría cuántica de corrección de errores.

7. Información Cuántica.

Medidas de Información. Entropía de von Neumann. Información mutua. Entropía cuántica relativa y condicional. Entropías generalizadas. Concavidad y Mayorización. Medidas de distancia entre estados cuánticos. Fidelidad. Relación con medidas de entrelazamiento cuántico. Criptografía cuántica. Protocolos B92 y EPR.

8. Temas especiales.

Correlaciones cuánticas en estados no puros. Discordia cuántica. Decoherencia. Modelos de computación cuántica. Teorías de Recursos Cuánticos. Coherencia. Entrelazamiento en sistemas de componentes indistinguibles. Entrelazamiento en sistemas de espines. Entrelazamiento en sistemas continuos.

Bibliografía básica:

M. Nielsen, I. Chuang, *Quantum computation and quantum information*, Cambridge University Press (2000).

J. Preskill, *Quantum Computation*, Lecture notes for Physics, California Institute of Technology (2023); http://theory.caltech.edu/~preskill/ph219/ph219_2023.html

G. Benenti, G. Casati, G. Strini, *Principles of Quantum Computation and Information*, Vol. I, II, World Scientific (2007).

S. Haroche, J.M.Raimond, *Exploring the Quantum: Atoms, Cavities and Photons*, Oxford (2006).

V. Vedral, *Introduction to Quantum Information*, Imperial College Press (2007).

J. Watrous, *The Theory of Quantum Information*, Cambridge Univ. Press (2018).

M.M. Wilde, *Quantum Information Theory*, Cambridge Univ. Press (2017).

F. Fanchini, D. Soares-Pinto, G. Adesso, *Lectures on General Quantum Correlations and their Applications*, Springer (2017).

E.M.F. Curado, A.M. Kowalski, R. Rossignoli, *Concepts and Recent Advances in Generalized Information Measures and Statistics*, Bentham (2013).

K. Modi et al, *The classical-quantum boundary for correlations: Discord and related measures*, Reviews of Modern Physics 84, 1655 (2012).

E. Chitambar, G. Gour, *Quantum resource theories*, Reviews of Modern Physics 91, 025001 (2019).