

Guía docente de la asignatura

Fecha última actualización: 19/06/2021

Fecha de aprobación: 19/06/2021

Información Cuántica y Aplicaciones

Grado	Grado en Física	Rama	Ciencias				
Módulo	Física Matemática e Información Cuántica	Materia	Información Cuántica y Aplicaciones				
Curso	4 ^o	Semestre	2 ^o	Créditos	6	Tipo	Optativa

PRERREQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES

Se recomienda haber superado las materias correspondientes a los módulos de Fundamentos Cuánticos y Métodos Matemáticos y Programación. Poseer la capacidad de leer textos en inglés científico comprendiendo su contenido

BREVE DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS (Según memoria de verificación del Grado)

- Entrelazamiento cuántico.** Concepto; teorema Einstein-Podolsky-Rosen y desigualdades de Bell; entropías cuánticas.
- Medida Cuántica.** Teoría de la medida; desarrollos teóricos principales; interpretaciones y experimentos; base preferida y Decoherencia.
- Desarrollos experimentales recientes.** Indeterminación, complementaridad y dualidad interferométrica; gatos de Schrödinger; elección retardada; borrado cuántico.
- Aplicaciones.** Computación cuántica; teletransporte cuántico; criptografía cuántica; juegos cuánticos.

COMPETENCIAS ASOCIADAS A MATERIA/ASIGNATURA**COMPETENCIAS GENERALES**

- CG01 - Capacidad de análisis y síntesis
- CG02 - Capacidad de organización y planificación
- CG05 - Capacidad de gestión de la información
- CG08 - Razonamiento crítico
- CG09 - Aprendizaje autónomo

COMPETENCIAS ESPECÍFICAS

- CE01 - Conocer y comprender los fenómenos y las teorías físicas más importantes.



- CE06 - Elaborar proyectos de desarrollo tecnológico y/o de iniciación a la investigación científica.
- CE07 - Transmitir conocimientos de forma clara tanto en ámbitos docentes como no docentes.
- CE09 - Aplicar los conocimientos matemáticos en el contexto general de la física.

RESULTADOS DE APRENDIZAJE (Objetivos)

Tras cursar satisfactoriamente la asignatura, el alumno:

a) Conocería:

- Las principales cuestiones sobre fundamentos de la mecánica cuántica, la información cuántica, la computación cuántica y la comunicación cuántica.
- El significado del entrelazamiento cuántico como fenómeno científico y herramienta tecnológica.
- Nociones básicas sobre la concepción cuántica de la medida y los principales desarrollos teóricos relacionados.
- Algunos de los más recientes desarrollos experimentales en el campo.
- Las principales aplicaciones de la materia.

b) Debería:

- Haber percibido la gran revolución conceptual que ha supuesto la teoría cuántica.
- Haber comprendido los actuales debates interpretativos abiertos sobre la teoría cuántica y sus nuevos desarrollos teóricos generados, y haber realizado exposiciones coherentes sobre ellos.
- Ser capaz de abordar la principal bibliografía relacionada, comprendiendo los problemas planteados y las implementaciones experimentales acometidas.
- Haber comprendido la trascendencia sobre las aplicaciones actuales más importantes de la Información Cuántica, Computación Cuántica y la Comunicación Cuántica, y ser capaz de realizar explicaciones coherentes sobre ellas.

PROGRAMA DE CONTENIDOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS

TEÓRICO

TEMARIO TEÓRICO (palabras clave):

Tema0. **Introducción.** Dicotomías: Procesado de la información. Cronología y motivación. Notación cuántica y postulados. Sistemas físicos de dos estados. Regla de platino, colisiones y teorema H. Principio de máxima entropía y termodinámica. Algebra de Boole. Puertas y circuitos lógicos. Lógica reversible y sus puertas. Lógica cuántica. Probabilidades. Canal binario. Desigualdades contrafactualas. Aleatoriedad real y aparente. Correlaciones. Probabilidad y objetos perdidos. Medidas cuánticas generalizadas. Puertas cuánticas y protocolos. Manipulación dinámica de sistemas.

Tema 1. **Información clásica.** Entropías de Shannon, Rényi y Tsallis. Comunicación clásica. Digitalización y muestreo de señales. Información mútua. Entropía relativa. Codificación y compresión. Corrección de errores. Teoremas de Shannon y capacidad. Tipicalidad. Información



continua. Muestreo. Información física. Conservación de la información. Subaditividad. Computación reversible y principio de Landauer. Borrado dinámico de la información. Bits en continuo y protocolos. Termodinámica de la computación. Computabilidad. Paradojas. Información algorítmica y complejidad. Criptografía clásica. Claves públicas.

Tema 2. Información Cuántica. Formalismo de la matriz densidad. Ecuación de Landau-von Neumann. Concepto y contenido de información cuántica. Sistemas bipartitos. Matriz densidad reducida. Decoherencia cuántica. Positividad completa. Implicaciones termodinámicas. Bits cuánticos y su implementación física. La esfera de Bloch. Polarización. Sistemas físicos de dos y más qubits. Medidas de información y de entrelazamiento. Descomposición de Schmidt. Purificaciones. Fidelidad. Separabilidad. Discriminación cuántica falible e infalible. Cota de Helstrom.

Tema 3. Comunicación Cuántica. Procesamiento de la información cuántica. La paradoja EPR. Desigualdades de Bell. Teorema de Kochen-Specker y contextualidad. Teoremas de imposibilidad. Criptografía y Teleportación cuánticas. Capacidad cuántica. Cotas de Holevo y Schumacher.

Tema 4. Computación Cuántica. Protocolos cuánticos. Puertas lógicas cuánticas. Redes y circuitos cuánticos. Principios generales. Paralelismo cuántico. Algoritmos cuánticos. Computadores cuánticos. Corrección de errores.

PRÁCTICO

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA FUNDAMENTAL

BIBLIOGRAFÍA FUNDAMENTAL:

- J.A. Bergou & M. Hillery, Introduction to the Quantum Information Processing (Springer, Berlin, 2013)
- T. M. Cover , J. A. Thomas, Elements of Information Theory, (Wiley, 1991)
- Abramson, Information Theory and Coding, McGraw-Hill, 1963
- L. Brillouin, Science and Information Theory, Academic Press, 1962
- R.G. Gallager, Information Theory and reliable communication, Wiley, 1983
- G. Benenti, G. Casati, and G. Strini, Principles of Quantum Computation and Information. Vols. I and II (World Scientific, Singapore, 2007).
- B. Schumacher & M.D. Westmoreland, Quantum Processes, Systems and Information. (Cambridge University Press, Cambridge, 2010).
- N. Nielsen & I.L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information (Cambridge U. P., Cambridge, 2010).
- M. M. Wilde, Quantum Information Theory (Cambridge U.P., Cambridge, 2013)



- S. Barnett, Quantum Information, (Oxford, 2009)
- J.A. Jones & D. Jaksch, Quantum Information, Computation and Communication (Cambridge

Univ. Press, Cambridge, 2012).

- I. Bengtsson & C. Zyczkowski, Geometry of Quantum States: An Introduction to Quantum

Entanglement (Cambridge U. P., Cambridge, 2006).

- V. Vedral, Introduction to Quantum Information Science. (Oxford U.P., Oxford, 2006)
- G. Jaeger, Quantum Information: An Overview (Springer, Berlin, 2007)
- A. Albert et al, Quantum Information. An Introduction to Basic Theoretical Concepts and

Experiments; Springer; Berlin, 2001.

- M. M. Wilde, From Classical to Quantum Shannon Theory (Lecture Notes LSU, 2016)
- W.H. Steeb, Problems & Solutions in Quantum Computing & Quantum Information (World

Scientific, Singapore, 2004).

- D. McMahon, Quantum Computing Explained (Wiley, N.Y., 2008)

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- H. T. Williams, Discrete Quantum Mechanics. (Morgan & Claypool Publishers, IOP, 2015)
- E. Desurvire, Classical and Quantum Information Theory: An Introduction for the Telecom

Scientist (Cambridge U.P., Cambridge, 2011)

- D. C. Marinescu, Classical and Quantum Information (Academic Press, N.Y., 2011)
- E. G. Rieffel, Quantum Computing: A Gentle Introduction (M.I.T. Press, 2011)
- A. Zagoskin, Quantum Engineering: Theory and Design of Quantum Coherent Structures.



(Springer, 2011)

- A. Renyi, Diary on information theory
- R. P. Feynman, Lectures on Computation

ENLACES RECOMENDADOS

- John Preskill, <http://www.theory.caltech.edu/people/preskill/ph219/#lecture> o simplemente <http://theory.caltech.edu/~preskill/ph229/>
- Quantum computers ready to leap out of the lab in 2017, Nature, <https://www.nature.com/news/quantum-computers-ready-to-leap-out-of-the-lab-in-2017-1.21239>
- Grupos de investigación: <http://faeuato.us.es/QIGUS/links.htm>, www.quantumoptics.net, <http://www.iqoqi.at/en/>, y www.qubit.org.
- <http://qserver.usc.edu/quantum-links/>

METODOLOGÍA DOCENTE

- MD01 Lección magistral/expositiva
- MD03 Resolución de problemas
- MD07 Seminarios y/o exposición de trabajos
- MD09 Análisis de fuentes y documentos

EVALUACIÓN (instrumentos de evaluación, criterios de evaluación y porcentaje sobre la calificación final)

EVALUACIÓN ORDINARIA

- La evaluación será continua y se realizará mediante exámenes de teoría y problemas, prácticas de ordenador y trabajos opcionales, en los que los estudiantes tendrán que demostrar las competencias adquiridas.
- La superación de cualquiera de las pruebas no se logrará sin un conocimiento uniforme y equilibrado de toda la materia.



La calificación del examen final constituirá el 70% de la nota y el 30% restante se evaluará, de forma complementaria, según: participación en clase, entrega de trabajos y problemas, controles periódicos orales o escritos.

EVALUACIÓN EXTRAORDINARIA

- Opción 1. Un examen único que incluirá varias cuestiones teórico-prácticas y problemas que constituye el 100% de la nota.
- Opción 2. Un examen único que incluirá varias cuestiones teórico-prácticas y problemas que constituye el 70% de la nota a sumar al 30% de la evaluación continua del curso si el alumno expresa explícitamente su preferencia por esta opción.

EVALUACIÓN ÚNICA FINAL

Evaluación única final: Aquellos estudiantes que, siguiendo la Normativa de la UGR en los términos y plazos que en ella se exigen, se acojan a esta modalidad de evaluación, realizarán un examen que incluirá varias cuestiones teórico-prácticas y problemas

INFORMACIÓN ADICIONAL

A menos que se indique lo contrario, los trabajos y exámenes presentados para su evaluación han de ser manuscritos de puño y letra por el alumno autor, fechados y firmados incluyendo DNI hoja por hoja (excepto gráficas o listados de programa). En caso de ser subidos a la plataforma PRADO dichos originales han de ser escaneados y conservados y deben de estar disponibles en todo momento para ser enviados como pruebas documentales por correo ordinario certificado, correo de la UGR o en mano en caso de requerimiento específico. Se presupone la autenticidad y originalidad de los documentos aportados. Ambas serán eventualmente justificadas en tutoría por el estudiante oralmente en una entrevista (google-meet o presencialmente) bajo requerimiento explícito del profesor lo que contribuirá al ajuste fino de la evaluación de las pruebas.

