

Información Cuántica

Código: 104408
Créditos ECTS: 6

Titulación	Tipo	Curso	Semestre
2503740 Matemática Computacional y Analítica de Datos	OB	3	2

Contacto

Nombre: Alessio Celi

Correo electrónico: alessio.celi@uab.cat

Uso de idiomas

Lengua vehicular mayoritaria: catalán (cat)

Algún grupo íntegramente en inglés: No

Algún grupo íntegramente en catalán: Sí

Algún grupo íntegramente en español: No

Equipo docente

Anna Sanpera Trigueros

Gael Sentís Herrera

Andreas Johannes Winter

Prerequisitos

Es recomendable tener un buen dominio de álgebra, especialmente de espacios vectoriales y, preferiblemente, de espacios Euclidianos complejos. Se recomienda también de tener familiaridad con los conceptos básicos de la información clásica, presentados en el curso "Teoria de la información" en el primer trimestre.

Objetivos y contextualización

La asignatura es una introducción a la visión actual de la mecánica cuántica y sus paradigmas. Con la tecnología de que hoy en día disponemos, muchos de los efectos cuánticos más paradójicos han dejado ya de ser una curiosidad académica y han convertido recursos potentísimos que serán la base de numerosas y sorprendentes aplicaciones prácticas en un futuro no muy lejano. En este curso se presentan algunas: teletransporte, codificación densa, desigualdades de Bell, criptografía, computación cuánticas, etcétera. El curso está dirigido matemáticos con una fuerte vocación informática de análisis de datos, por lo tanto, habrá que proveer la formación física imprescindible con una introducción a los fundamentos de la mecánica cuántica y a la criptografía y la computación clásicas. También se revisan los conceptos básicos de la teoría clásica de la información. El curso tiene también una componente computacional: se harán simulaciones numéricas de diversos fenómenos y usarán prototipos de ordenadores cuánticos para programar varios protocolos. El objetivo de la asignatura no es sólo dar una descripción de los avances que se han producido en información cuántica, sino también proporcionar al estudiante las herramientas básicas para poder continuar su formación de post grado en este campo, si éste es su interés.

Competencias

- Demostrar una elevada capacidad de abstracción y de traducción de fenómenos y comportamientos a formulaciones matemáticas.
- Evaluar de manera crítica y con criterios de calidad el trabajo realizado.

- Planear y realizar, utilizando métodos analíticos o numéricos, estudios de sistemas físicos e interpretar los resultados.
- Que los estudiantes hayan demostrado poseer y comprender conocimientos en un área de estudio que parte de la base de la educación secundaria general, y se suele encontrar a un nivel que, si bien se apoya en libros de texto avanzados, incluye también algunos aspectos que implican conocimientos procedentes de la vanguardia de su campo de estudio.
- Que los estudiantes sepan aplicar sus conocimientos a su trabajo o vocación de una forma profesional y posean las competencias que suelen demostrarse por medio de la elaboración y defensa de argumentos y la resolución de problemas dentro de su área de estudio.
- Que los estudiantes tengan la capacidad de reunir e interpretar datos relevantes (normalmente dentro de su área de estudio) para emitir juicios que incluyan una reflexión sobre temas relevantes de índole social, científica o ética.
- Utilizar eficazmente bibliografía y recursos electrónicos para obtener información.

Resultados de aprendizaje

1. Aplicar el concepto de medida cuántica a problemas de optimización de problemas sencillos de discriminación, estimación y comunicación cuánticas.
2. Comprender el impacto de las tecnologías cuánticas en computación, criptografía y otros protocolos de comunicación.
3. Dominar los principios y el formalismo de Dirac y matricial de la física cuántica.
4. Evaluar de manera crítica y con criterios de calidad el trabajo realizado.
5. Explicar los postulados de la física cuántica y aplicarlos a problemas de procesamiento de información.
6. Que los estudiantes hayan demostrado poseer y comprender conocimientos en un área de estudio que parte de la base de la educación secundaria general, y se suele encontrar a un nivel que, si bien se apoya en libros de texto avanzados, incluye también algunos aspectos que implican conocimientos procedentes de la vanguardia de su campo de estudio.
7. Que los estudiantes sepan aplicar sus conocimientos a su trabajo o vocación de una forma profesional y posean las competencias que suelen demostrarse por medio de la elaboración y defensa de argumentos y la resolución de problemas dentro de su área de estudio.
8. Que los estudiantes tengan la capacidad de reunir e interpretar datos relevantes (normalmente dentro de su área de estudio) para emitir juicios que incluyan una reflexión sobre temas relevantes de índole social, científica o ética.
9. Utilizar eficazmente bibliografía y recursos electrónicos para obtener información.

Contenido

0. Repaso de álgebra lineal i números complejos

- Espacios vectoriales reales
- Números complejos
- Espacios vectoriales complejos

1. Elementos de la teoría cuántica

- Principios básicos
- Estados mixtos
- Operadores unitarios
- Qubits
- Estados entrelazados
- Medidas de von Neumann

2. Medidas generalizadas

- Medidas generalizadas
- Medidas optimizadas
- Operaciones

3. Criptografía cuántica

- Seguridad de la información
- Comunicación cuántica
- Distribución cuántica de claves

4. Entrelazamiento

- No localidad
- Medidas indirectas
- Ebits y entrelazamiento compartido
- Codificación densa cuántica
- Teletransporte

5. Procesado cuántico de la información

- Electrónica digital
- Puertas cuánticas
- Circuitos cuánticos
- Corrección cuántica de errores

6. Computación cuántica

- Elementos de informática
- Principios de la computación cuántica
- Algoritmo de Deutsch-Jozsa
- Algoritmo de Grover
- La transformada cuántica de Fourier
- Algoritmo de Shor
- Requisitos físicos

7. Teoría cuántica de la información

- La entropía de von Neumann
- Teorema de compresión
- Información accesible
- Sistemas compuestos
- Medidas de entrelazamiento
- Teoría cuántica de la comunicación

Metodología

El curso se estructura en clases de teoría, clases de problemas y actividades de evaluación continua.

Las clases de teoría tienen el formato de presentaciones keynote / powerpoint. Hay habrá algunas clases / seminarios sobre algunos temas del curso que serán presentados por investigadores del campo de la Información Cuántica. Estos seminarios serán generalmente en inglés.

Las clases de problemas se hacen habitualmente en la pizarra y consisten en la resolución de los problemas más significativos, los enunciados de los que se ponen a disposición del alumnado a través del Campus Virtual.

Habrá 6 entregas. El objetivo es profundizar, consolidar y extender los conocimientos de los alumnos sobre aspectos y resultados tratados a lo largo del curso. Así pues, las entregas podrán contener problemas o cuestiones de mayor complejidad y extensión. Estas se deberán entregar periódicamente a lo largo del curso y en las fechas previamente acordadas. El objetivo de estas actividades es incentivar el trabajo autónomo.

Todo el material: listas de problemas, material docente adicional, resolución detallada de algunos ejercicios, así como las noticias relacionadas con el funcionamiento del curso, se ponen a disposición del alumnado a través del Campus Virtual.

Nota: se reservarán 15 minutos de una clase dentro del calendario establecido por el centro o por la titulación para que el alumnado rellene las encuestas de evaluación de la actuación del profesorado y de evaluación de la asignatura o módulo.

Actividades

Título	Horas	ECTS	Resultados de aprendizaje
Tipo: Dirigidas			
Clases teóricas	28	1,12	2, 5, 9
Seminarios temas específicos	10	0,4	2
Tipo: Supervisadas			
Proyectos con ordenadores cuánticos online	12	0,48	4, 2, 5
Tipo: Autónomas			
Ejercicios para entregar	36	1,44	1, 4, 2, 3, 9
Estudio de los fundamentos teóricos	20	0,8	1, 2, 5, 8, 9
Resolución numérica de ejercicios	36	1,44	1, 4, 2, 8, 9

Evaluación

La evaluación consta de las siguientes actividades

Una prueba de conceptos teóricos, con un peso del 45%

Una prueba sobre aspectos computacionales con un peso del 20%

Entrega de ejercicios realizados de forma autónoma a lo largo del curso, con un peso del 30%

Asistencia y participación activa en los seminarios específicos que se realizarán durante el curso, con un peso del 5%

Los alumnos que hayan sido evaluados al menos en un 66% de las actividades totales, podrán presentarse a las pruebas de repesca de las actividades 1 y 2. Un alumno que sólo haya realizado las actividades 3, 4 se considerará no evaluable.

Actividades de evaluación

Título	Peso	Horas	ECTS	Resultados de aprendizaje
Asistencia y participación en seminarios especializados	5	0	0	1, 2, 3, 5, 6, 7, 9
Entrega de ejercicios realizados de forma autónoma	30	0	0	1, 4, 2, 3, 7, 8, 9
Evaluación de aspectos computacionales	20	1,5	0,06	2, 3, 6, 7, 9
Prueba de evaluación de conceptos teóricos	45	2,5	0,1	1, 2, 3, 5

Bibliografía

Los estudiantes tendrán acceso a las lecciones en formato pdf y copias de Keynote / Powerpoint del curso. Para más información, se recomienda la siguiente bibliografía:

Bàsica

Teoria

- S.M. Barnett, Quantum Information, Oxford University Press, 2009.
- J. Preskill. Lectures notes on Quantum Computation. Es pot obtenir gratuïtament a la direcció: <http://www.theory.caltech.edu/people/preskill/ph229>.
- M.A. Nielsen; S.L. Chuang. Quantum Computation and Quantum Information. Cambridge Univ. Press, Cambridge 2000.
- A. Peres. Quantum Theory: Concepts and Methods. Kluwer, Dordrecht 1995.
- D. Applebaum. Probability and Information. Cambridge Univ. Press, Cambridge 1996.
- D. Boumeester; A. Eckert; A. Zeilinger. The Physics of Quantum Information. Springer 2000.
- D. Heiss. Fundamentals of Quantum Information. Springer 2002.

Problemes

- Steeb, Willi-Hans, and Yorick Hardy. *Problems and solutions in quantum computing and quantum information*. World Scientific Publishing Company, 2018.
- C. P. Williams; S. Clearwater. *Exploration in Quantum Computing*. Springer 1998

Software

IBM quantum composer