Sensores cuánticos (Quantum metrology and sensing)

MÁSTER UNIVERSITARIO EN TECNOLOGÍAS CUÁNTICAS

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL MENÉNDEZ PELAYO

Másteres Universitarios

Este documento puede utilizarse como documentación de referencia de esta asignatura para la solicitud de reconocimiento de créditos en otros estudios. Para su plena validez debe estar sellado por la Secretaría de Estudiantes UIMP.

DATOS GENERALES

Título asignatura

Sensores cuánticos (Quantum metrology and sensing)

Código asignatura

102773

Curso académico

2024-25

Planes donde se imparte

MÁSTER UNIVERSITARIO EN TECNOLOGÍAS CUÁNTICAS

Créditos ECTS

6

Carácter de la asignatura

OPTATIVA

Duración

Cuatrimestral

Idioma

CONTENIDOS

Contenidos

Esta asignatura introduce los principales conceptos de la metrología cuántica y del sensado cuántico, obteniendo una visión global de los fundamentos teóricos, implementaciones experimentales y aplicaciones tecnológicas de esos sensores.

- Introducción y fundamentos teóricos del sensado y la metrología cuántica
- Sensores basados en centros de color en diamantes: propiedades, dinámica y control cuántico, aplicaciones experimentales en NMR y magnetometría.
- Sensores basados en superconductores: SQUIDs, funcionamiento y aplicaciones a resonancia de espín; detectores superconductores de radiación.
- Metrología cuántica. Estándares cuánticos eléctricos. Relojes atómicos. Espectroscopía de precisión y espectroscopía de masas.
- Microscopios de fuerza AFM

RESULTADOS DE APRENDIZAJE Y DE FORMACIÓN

Generales

RFA a nivel de Contenidos

RFA2 Entender el procesado de la información usando sistemas cuánticos, como qubits, puertas cuánticas, medidas, entrelazamiento, correlación, y limitaciones fundamentales y complejidad cuántica de algoritmos y operaciones.

RFA3 Identificar conceptos avanzados en el estudio mecano-cuántico de sistemas físicos de muchos cuerpos, fundamentos de interacción luz-materia, elementos de sistemas abiertos y topología.

RFA5 Conocer las principales implementaciones físicas de las tecnologías cuánticas y comprender sus principios de funcionamiento.

RFA a nivel de Competencias

RFA6 Diseñar, organizar e implementar un evento científico para la presentación del estado del arte en un campo de investigación.

RFA7 Atender, comprender e interpretar una charla científica en un ámbito de investigación de frontera de las tecnologías cuánticas, así como desarrollar una exposición crítica de los resultados presentados.

RFA9 Desarrollar capacidad de análisis, razonamiento crítico y resolución de problemas.

RFA10 Trabajar en equipo de forma activa compartiendo información y tareas para lograr la consecución de los objetivos previstos.

RFA11 Desarrollar proyectos básicos de investigación de forma autónoma.

RFA12 Redactar documentos científicos y técnicos, en particular artículos científicos.

RFA13 Realizar presentaciones sobre una investigación o proyecto científico ante públicos especializados.

RFA14 Buscar, obtener, procesar, comunicar información y transformarla en conocimiento.

RFA15 Conocer las herramientas metodológicas necesarias para desarrollar proyectos de investigación.

RFA a nivel de Habilidades o destrezas

RFA16 Aplicar conocimiento teórico relacionado con las tecnologías cuánticas en el ámbito de la investigación básica.

RFA17 Aplicar conocimiento teórico relacionado con las tecnologías cuánticas en el ámbito de la

investigación aplicada y el desarrollo tecnológico.

RFA18 Aplicar conocimiento práctico relacionado con las tecnologías cuánticas en el ámbito de la investigación básica.

RFA19 Aplicar conocimiento práctico relacionado con las tecnologías cuánticas en el ámbito de la investigación aplicada y el desarrollo tecnológico.

PLAN DE APRENDIZAJE

Actividades formativas

Lección magistral

Clase práctica

Tutorías individuales y/o colectivas

Estudio individual y trabajo autónomo del estudiante

Elaboración de trabajos individuales y/o en grupo

Metodologías docentes

Clases magistrales

Resolución de casos prácticos

Prácticas de programación o de laboratorio

Ponencias sobre los trabajos o entregables de problemas

Seminarios y conferencias

Tutorías individuales y/o colectivas

SISTEMA DE EVALUACIÓN

Descripción del sistema de evaluación

Valoración de la participación en tutorías (ponderación mínima 10.0 y ponderación máxima 30.0)

Valoración de informe, prácticas y trabajos individuales o en grupo (ponderación mínima 20.0 y ponderación máxima 50.0)

Valoración de exposiciones orales de trabajos (ponderación mínima 20.0 y ponderación máxima 50.0)

Valoración del examen final oral o escrito (ponderación mínima 40.0 y ponderación máxima 80.0)

PROFESORADO

Profesor responsable

Prior Arce, Javier

Profesor Titular de Universidad
Universidad de Murcia

Profesorado

Pobes Aranda, Carlos

Doctor en Ciencias Físicas
Científico Titular CSIC.
Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón

Luis Vitalla, Fernando

Doctor en Ciencias Físicas
Profesor de Investigación CSIC
Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón, CSIC
Universidad de Zaragoza

Cerrillo Moreno, Javier

Doctor en Física Cuántica.
Profesor Titular del Área de Física Aplicada.
Universidad Politécnica de Cartagena.

Rodríguez Rubiales, Daniel

DR. EN CIENCIAS FÍSICAS.
CATEDRÁTICO DE UNIVERSIDAD (FÍSICA ATÓMICA MOLECULAR Y NUCLEAR).
UNIVERSIDAD DE GRANADA.

Martínez Pérez, María José

Investigadora distinguida CSIC
INMA (CSIC)

Universidad de Zaragoza

Colchero Paetz, Jaime

ProfesorTitular de Fisica de la Materia Condensada
Universidad de Murcia

HORARIO

Horario

17/02/2025

15:00 - 16:00

Introduction to quantum sensing

Javier Prior Arce

Profesor Titular de Universidad
Universidad de Murcia

18/02/2025

15:00 - 16:00

Introduction signature

Javier Prior Arce

Profesor Titular de Universidad
Universidad de Murcia

19/02/2025

15:00 - 16:00

Definition of quantum sensing and quantum sensors

Javier Prior Arce

Profesor Titular de Universidad
Universidad de Murcia

20/02/2025

15:00 - 16:00

Definition quatnum sensors / The sensing protocols

Javier Prior Arce

Profesor Titular de Universidad
Universidad de Murcia

21/02/2025

15:00 - 16:00

Parameter stimation

Javier Prior Arce

Profesor Titular de Universidad
Universidad de Murcia

24/02/2025

15:00 - 16:00

Parameter estimation problem. Bias and unbias estimator

Javier Prior Arce

Profesor Titular de Universidad
Universidad de Murcia

25/02/2025

15:00 - 16:00

Tutoría

Javier Prior Arce

Profesor Titular de Universidad
Universidad de Murcia

26/02/2025

15:00 - 16:00

Quantum Enhanced Sensing fundamentals (video)

Javier Cerrillo Moreno

Doctor en Física Cuántica.
Profesor Titular del Área de Física Aplicada.
Universidad Politécnica de Cartagena.

27/02/2025

15:00 - 16:00

Quantum Enhanced Sensing fundamentals (video)

Javier Cerrillo Moreno

Doctor en Física Cuántica.
Profesor Titular del Área de Física Aplicada.
Universidad Politécnica de Cartagena.

28/02/2025

15:00 - 16:00

Quantum Enhanced Sensing fundamentals

Javier Cerrillo Moreno

Doctor en Física Cuántica.
Profesor Titular del Área de Física Aplicada.
Universidad Politécnica de Cartagena.

03/03/2025

15:00 - 16:00

Quantum Enhanced Sensing fundamentals

Javier Cerrillo Moreno

Doctor en Física Cuántica.
Profesor Titular del Área de Física Aplicada.
Universidad Politécnica de Cartagena.

04/03/2025

15:00 - 16:00

Tutoria

Javier Prior Arce

Profesor Titular de Universidad
Universidad de Murcia

05/03/2025

15:00 - 16:00

NV centers sensors

Javier Prior Arce

Profesor Titular de Universidad
Universidad de Murcia

06/03/2025

15:00 - 16:00

Noise (video)

Javier Cerrillo Moreno

Doctor en Física Cuántica.
Profesor Titular del Área de Física Aplicada.
Universidad Politécnica de Cartagena.

07/03/2025

15:00 - 16:00

Noise

Javier Cerrillo Moreno

Doctor en Física Cuántica.
Profesor Titular del Área de Física Aplicada.
Universidad Politécnica de Cartagena.

10/03/2025

15:00 - 16:00

Noise

Javier Cerrillo Moreno

Doctor en Física Cuántica.
Profesor Titular del Área de Física Aplicada.
Universidad Politécnica de Cartagena.

11/03/2025

15:00 - 16:00

Tutoría

Javier Cerrillo Moreno

Doctor en Física Cuántica.
Profesor Titular del Área de Física Aplicada.
Universidad Politécnica de Cartagena.

12/03/2025

15:00 - 16:00

Parameter estimation problem. Frecuency and Bayesian approach

Javier Prior Arce

Profesor Titular de Universidad
Universidad de Murcia

13/03/2025

15:00 - 16:00

The Crame Rao bound

Javier Prior Arce

Profesor Titular de Universidad

Universidad de Murcia

14/03/2025

15:00 - 16:00

The quantum sensing Hamiltonian

Javier Prior Arce

Profesor Titular de Universidad
Universidad de Murcia

17/03/2025

15:00 - 16:00

Laboratory S1

Javier Prior Arce

Profesor Titular de Universidad
Universidad de Murcia

18/03/2025

15:00 - 16:00

Laboratory S2

Javier Prior Arce

Profesor Titular de Universidad
Universidad de Murcia

19/03/2025

15:00 - 16:00

Tutoria

Javier Prior Arce

Profesor Titular de Universidad
Universidad de Murcia

20/03/2025

15:00 - 16:00

Superconducting sensors 1/5: phase coherence

María José Martínez Pérez

Investigadora distinguida CSIC
INMA (CSIC)
Universidad de Zaragoza

21/03/2025

15:00 - 16:00

Superconducting sensors 1/5: josephson effect

María José Martínez Pérez

Investigadora distinguida CSIC
INMA (CSIC)
Universidad de Zaragoza

24/03/2025

15:00 - 16:00

Superconducting sensors 1/5: SQUIDs

María José Martínez Pérez

Investigadora distinguida CSIC
INMA (CSIC)
Universidad de Zaragoza

25/03/2025

15:00 - 16:00

Superconducting sensors 1/5: practical implementations

María José Martínez Pérez

Investigadora distinguida CSIC
INMA (CSIC)
Universidad de Zaragoza

26/03/2025

15:00 - 16:00

Superconducting sensors 1/5: parametric amplification

María José Martínez Pérez

Investigadora distinguida CSIC
INMA (CSIC)
Universidad de Zaragoza

27/03/2025

15:00 - 16:00

Superconducting materials

María José Martínez Pérez

Investigadora distinguida CSIC
INMA (CSIC)
Universidad de Zaragoza

28/03/2025

15:00 - 16:00

Tutoria

María José Martínez Pérez

Investigadora distinguida CSIC
INMA (CSIC)
Universidad de Zaragoza

31/03/2025

15:00 - 16:00

Josephson junctions

María José Martínez Pérez

Investigadora distinguida CSIC
INMA (CSIC)
Universidad de Zaragoza

01/04/2025

15:00 - 16:00

Tutoría

María José Martínez Pérez

Investigadora distinguida CSIC
INMA (CSIC)
Universidad de Zaragoza

02/04/2025

15:00 - 16:00

Tutoría

María José Martínez Pérez

Investigadora distinguida CSIC
INMA (CSIC)
Universidad de Zaragoza

03/04/2025

15:00 - 16:00

On-chip electron spin resonance-I: Introduction

Fernando Luis Vitalla

Doctor en Ciencias Físicas
Profesor de Investigación CSIC
Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón, CSIC
Universidad de Zaragoza

04/04/2025

15:00 - 16:00

On-chip electron spin resonance-II: SC waveguides & resonators

Fernando Luis Vitalla

Doctor en Ciencias Físicas

Profesor de Investigación CSIC
Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón, CSIC
Universidad de Zaragoza

07/04/2025

15:00 - 16:00

On-chip electron spin resonance-III: Methods to enhance sensitivity

Fernando Luis Vitalla

Doctor en Ciencias Físicas
Profesor de Investigación CSIC
Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón, CSIC
Universidad de Zaragoza

08/04/2025

15:00 - 16:00

On-chip electron spin resonance: problem solving practice

Fernando Luis Vitalla

Doctor en Ciencias Físicas
Profesor de Investigación CSIC
Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón, CSIC
Universidad de Zaragoza

09/04/2025

15:00 - 16:00

Tutoria

Fernando Luis Vitalla

Doctor en Ciencias Físicas
Profesor de Investigación CSIC
Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón, CSIC
Universidad de Zaragoza

10/04/2025

15:00 - 16:00

Tutoria

Fernando Luis Vitalla

Doctor en Ciencias Físicas
Profesor de Investigación CSIC
Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón, CSIC
Universidad de Zaragoza

11/04/2025

15:00 - 16:00

Radiation Quantum Detectors. Session 1: Introduction

Carlos Pobes Aranda

Doctor en Ciencias Físicas
Científico Titular CSIC.
Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón

22/04/2025

15:00 - 16:00

Radiation Quantum Detectors. Session 2: Transition Edge Sensors

Carlos Pobes Aranda

Doctor en Ciencias Físicas
Científico Titular CSIC.
Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón

23/04/2025

15:00 - 16:00

Radiation Quantum Detectors. Session 3: Superconducting sensors continued

Carlos Pobes Aranda

Doctor en Ciencias Físicas
Científico Titular CSIC.
Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón

24/04/2025

15:00 - 16:00

Exercises Session

Carlos Pobes Aranda

Doctor en Ciencias Físicas
Científico Titular CSIC.
Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón

25/04/2025

15:00 - 16:00

Tutoria

Carlos Pobes Aranda

Doctor en Ciencias Físicas
Científico Titular CSIC.

Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón

28/04/2025

15:00 - 16:00

Presentación Trabajos

María José Martínez Pérez

Investigadora distinguida CSIC
INMA (CSIC)
Universidad de Zaragoza

Javier Prior Arce

Profesor Titular de Universidad
Universidad de Murcia

29/04/2025

15:00 - 16:00

Atomic and Optical clocks I

Daniel Rodríguez Rubiales

DR. EN CIENCIAS FÍSICAS.
CATEDRÁTICO DE UNIVERSIDAD (FÍSICA ATÓMICA MOLECULAR Y NUCLEAR).
UNIVERSIDAD DE GRANADA.

30/04/2025

15:00 - 16:00

Atomic and Optical Clocks II

Daniel Rodríguez Rubiales

DR. EN CIENCIAS FÍSICAS.
CATEDRÁTICO DE UNIVERSIDAD (FÍSICA ATÓMICA MOLECULAR Y NUCLEAR).
UNIVERSIDAD DE GRANADA.

05/05/2025

15:00 - 16:00

Precision Spectroscopy

Daniel Rodríguez Rubiales

DR. EN CIENCIAS FÍSICAS.
CATEDRÁTICO DE UNIVERSIDAD (FÍSICA ATÓMICA MOLECULAR Y NUCLEAR).
UNIVERSIDAD DE GRANADA.

06/05/2025

15:00 - 16:00

Review of main concepts and time scales and dissemination

Daniel Rodríguez Rubiales

DR. EN CIENCIAS FÍSICAS.
CATEDRÁTICO DE UNIVERSIDAD (FÍSICA ATÓMICA MOLECULAR Y NUCLEAR).
UNIVERSIDAD DE GRANADA.

07/05/2025

15:00 - 16:00

Frequency conb and exercises

Daniel Rodríguez Rubiales

DR. EN CIENCIAS FÍSICAS.
CATEDRÁTICO DE UNIVERSIDAD (FÍSICA ATÓMICA MOLECULAR Y NUCLEAR).
UNIVERSIDAD DE GRANADA.

08/05/2025

15:00 - 16:00

Tutoria

Daniel Rodríguez Rubiales

DR. EN CIENCIAS FÍSICAS.
CATEDRÁTICO DE UNIVERSIDAD (FÍSICA ATÓMICA MOLECULAR Y NUCLEAR).
UNIVERSIDAD DE GRANADA.

09/05/2025

15:00 - 16:00

Mechanical Oscillators at the Quantum Limit: Gravitational Wave detectors and Atomic Force Microscopes (overview and introduction)

Jaime Colchero Paetz

ProfesorTitular de Fisica de la Materia Condensada
Universidad de Murcia

12/05/2025

15:00 - 16:00

Classical and quantum description of mechanical oscillators

Jaime Colchero Paetz

ProfesorTitular de Fisica de la Materia Condensada
Universidad de Murcia

13/05/2025

15:00 - 16:00

Fundamental noise sources in mechanical oscillators: motion uncertainty and detection limits

Jaime Colchero Paetz

ProfesorTitular de Fisica de la Materia Condensada
Universidad de Murcia

14/05/2025

15:00 - 16:00

Detection of mechanical oscillations at the fundamental limits: Lock-In techniques.

Jaime Colchero Paetz

ProfesorTitular de Fisica de la Materia Condensada
Universidad de Murcia

15/05/2025

15:00 - 16:00

Gravitational Wave Detectors

Jaime Colchero Paetz

ProfesorTitular de Fisica de la Materia Condensada
Universidad de Murcia

16/05/2025

15:00 - 16:00

Atomic Force Microscopes and other nano-mechanical oscillators

Jaime Colchero Paetz

ProfesorTitular de Fisica de la Materia Condensada
Universidad de Murcia

19/05/2025

15:00 - 16:00

Tutoria

Jaime Colchero Paetz

ProfesorTitular de Fisica de la Materia Condensada
Universidad de Murcia

20/05/2025

15:00 - 16:00

Presentación Trabajos

María José Martínez Pérez

Investigadora distinguida CSIC
INMA (CSIC)
Universidad de Zaragoza

Javier Prior Arce

Profesor Titular de Universidad
Universidad de Murcia

21/05/2025

15:00 - 16:00

Presentación Trabajos

María José Martínez Pérez

Investigadora distinguida CSIC
INMA (CSIC)
Universidad de Zaragoza

Javier Prior Arce

Profesor Titular de Universidad
Universidad de Murcia

BIBLIOGRAFÍA Y ENLACES RELACIONADOS

Bibliografía

C.L. Degen, F. Reinhard, and P. Cappellaro, Quantum Sensing, Rev. Mod. Phys. 89, 035002 (2017).

Waldemar Nawrocki, Introduction to quantum metrology, Springer (2015).

J.M. Taylor et al., High-sensitivity diamond magnetometer with nanoscale resolution, Nat. Phys. 4 (10), 810 (2008).

L. Pezze, A. Smerzi, M. Oberthaler, R. Schmied and P. Treutlein, Quantum metrology with nonclassical states of atomic ensembles, Rev. Mod. Phys. 90, 035005 (2018).