

Qubits en semiconductores y sistemas híbridos

MÁSTER UNIVERSITARIO EN TECNOLOGÍAS CUÁNTICAS

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL MENÉNDEZ PELAYO

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

Qubits en semiconductores y sistemas híbridos

Código asignatura

102772

Curso académico

2024-25

Planes donde se imparte

[MÁSTER UNIVERSITARIO EN TECNOLOGÍAS CUÁNTICAS](#)

Créditos ECTS

3

Carácter de la asignatura

OPTATIVA

Duración

Cuatrimestral

Idioma

CONTENIDOS

Contenidos

Esta asignatura ofrece una visión sobre bits cuánticos en distintas plataformas basadas en dispositivos semiconductores e híbridos. Se obtendrá una visión global sobre diferentes tipos de qubits en diversos materiales y dispositivos de estado sólido. Estos incluyen impurezas en silicio y diamante; espines de átomos y moléculas magnéticas y puntos cuánticos; así como propuestas y aplicaciones basadas en la combinación de estos sistemas con superconductores, incluyendo qubits topológicos basados en estados de Majorana e implementaciones híbridas en arquitecturas de tipo circuit QED.

Aparte de discutir plataformas específicas, se ofrece una introducción sobre conceptos básicos de física de semiconductores; sobre nanoestructuras con aplicación en tecnologías cuánticas; y sobre conceptos fundamentales de la física de espines que ilustran de manera particularmente sencilla fenómenos como decoherencia, termalización y control coherente.

- Introducción a la física de semiconductores, impurezas y espines localizados
- Nanoestructuras: gas de electrones 2D, puntos e hilos cuánticos
- Interacción espín-órbita en semiconductores
- Átomos y moléculas artificiales en impurezas, puntos cuánticos y centros de color
- Bits cuánticos en circuitos electrónicos multicanal
- Estados de Majorana y qubits topológicos
- Sistemas híbridos basados en circuitos superconductores

***: El estudiante que desee cursar esta asignatura alumnado deberá poseer conocimientos básicos de física del estado sólido.

RESULTADOS DE APRENDIZAJE Y DE FORMACIÓN

Generales

RFA a nivel de Contenidos

RFA2 Entender el procesamiento 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

Aguado Solá, Ramón

Doctor En Física.

Profesor De Investigación CSIC

Instituto De Ciencia De Materiales De Madrid (ICMM-CSIC)

Profesorado

Ortuño Ortín, Miguel

Doctor en Física.

Catedrático de Universidad en el área de Física Aplicada.

Universidad de Murcia.

Pérez Cañellas, Armando

Doctor en física.

Catedrático de universidad.

Universitat de València.

Frustaglia Lencinas, Diego César

Doctor en Física.

Profesor Titular de Universidad.

Departamento de Física Aplicada II, Universidad de Sevilla.

Calderón Prieto, María José

Doctora En Ciencias Físicas.

Investigadora Científica, Física De La Materia Condensada.

Instituto De Ciencia De Materiales De Madrid, CSIC

Cabello Quintero, Adán

Dr. en Ciencias Físicas.

Catedrático de Física Aplicada.

Universidad de Sevilla.

Kohler , Sigmund Albert

Dr. rer. nat.

Investigador Científico.

Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, CSIC.

Platero Coello, Gloria

Dra Físicas.

Profesora Investigación CSIC.

Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid.

López Gonzalo, María Rosa

Licenciada y Doctora en Física por la Universidad Autónoma de Madrid.

Catedrática de Universidad.

Universidad de las Islas Baleares, Instituto Interdisciplinar y de Sistemas Complejos.

HORARIO

Horario

07/10/2024

14:00 - 15:00

Introduction

Armando Pérez Cañellas

Doctor en física.
Catedrático de universidad.
Universitat de València.

15:15 - 16:15

Introduction

Adán Cabello Quintero

Dr. en Ciencias Físicas.
Catedrático de Física Aplicada.
Universidad de Sevilla.

08/10/2024

15:00 - 16:30

Mathematical Tools

Miguel Ortuño Ortín

Catedrático de Universidad en el área de Física Aplicada

Universidad de Murcia

09/10/2024

15:00 - 16:30

Mathematical Tools

Miguel Ortuño Ortín

Catedrático de Universidad en el área de Física Aplicada
Universidad de Murcia

10/10/2024

14:00 - 16:00

The Postulates of QM

Adán Cabello Quintero

Dr. en Ciencias Físicas.
Catedrático de Física Aplicada.
Universidad de Sevilla.

14/10/2024

14:00 - 15:00

Practical exercises

Adán Cabello Quintero

Dr. en Ciencias Físicas.
Catedrático de Física Aplicada.
Universidad de Sevilla.

15:15 - 16:15

Practical exercises

Miguel Ortuño Ortín

Catedrático de Universidad en el área de Física Aplicada
Universidad de Murcia

15/10/2024

14:00 - 15:00

Consequences

Adán Cabello Quintero

Dr. en Ciencias Físicas.
Catedrático de Física Aplicada.
Universidad de Sevilla.

15:15 - 16:15

Consequences

Miguel Ortuño Ortín

Catedrático de Universidad en el área de Física Aplicada
Universidad de Murcia

16/10/2024

14:00 - 15:00

Density Operator

Armando Pérez Cañellas

Doctor en física.
Catedrático de universidad.
Universitat de València.

15:15 - 16:15

Density Operator

Adán Cabello Quintero

Dr. en Ciencias Físicas.
Catedrático de Física Aplicada.
Universidad de Sevilla.

17/10/2024

14:00 - 16:00

Additional topics in QM

Armando Pérez Cañellas

Doctor en física.
Catedrático de universidad.
Universitat de València.

18/10/2024

14:00 - 16:00

Composed systems

Adán Cabello Quintero

Dr. en Ciencias Físicas.
Catedrático de Física Aplicada.
Universidad de Sevilla.

23/10/2024

14:00 - 15:00

Practical exercises

Armando Pérez Cañellas

Doctor en física.
Catedrático de universidad.
Universitat de València.

15:15 - 16:15

Practical exercises

Miguel Ortuño Ortín

Catedrático de Universidad en el área de Física Aplicada
Universidad de Murcia

24/10/2024

14:00 - 15:00

Practical exercises

Adán Cabello Quintero

Dr. en Ciencias Físicas.
Catedrático de Física Aplicada.
Universidad de Sevilla.

15:15 - 16:15

Practical exercises

Armando Pérez Cañellas

Doctor en física.
Catedrático de universidad.
Universitat de València.

25/10/2024

14:00 - 16:00

Practical exercises

Adán Cabello Quintero

Dr. en Ciencias Físicas.
Catedrático de Física Aplicada.
Universidad de Sevilla.

28/10/2024

14:00 - 15:00

Tutorships

Armando Pérez Cañellas

Doctor en física.
Catedrático de universidad.
Universitat de València.

15:15 - 16:15

Tutorships

Miguel Ortuño Ortín

Catedrático de Universidad en el área de Física Aplicada
Universidad de Murcia

29/10/2024

14:00 - 16:00

Tutorships

Adán Cabello Quintero

Dr. en Ciencias Físicas.
Catedrático de Física Aplicada.
Universidad de Sevilla.

31/03/2025

17:00 - 18:30

Introduction

María José Calderón Prieto

DOCTORA EN CIENCIAS FÍSICAS.
INVESTIGADORA CIENTÍFICA, FÍSICA DE LA MATERIA CONDENSADA.
INSTITUTO DE CIENCIA DE MATERIALES DE MADRID, CONSEJO SUPERIOR DE
INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

01/04/2025

17:00 - 18:30

Nanostructures

María Rosa López Gonzalo

Licenciada y Doctora en Física (UAM)
Catedrática de Universidad
Universidad de las Islas Baleares, Instituto Interdisciplinar y de Sistemas Complejos

03/04/2025

17:00 - 18:30

Spin orbit interactions in semiconductors.

Diego César Frustaglia Lencinas

Doctor en Física
Profesor Titular de Universidad.
Departamento de Física Aplicada II, Universidad de Sevilla.

04/04/2025

17:00 - 19:00

Artificial and Natural Atoms and molecules 1

María José Calderón Prieto

DOCTORA EN CIENCIAS FÍSICAS.
INVESTIGADORA CIENTÍFICA, FÍSICA DE LA MATERIA CONDENSADA.
INSTITUTO DE CIENCIA DE MATERIALES DE MADRID, CONSEJO SUPERIOR DE
INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

08/04/2025

18:00 - 20:00

Artificial and Natural Atoms and molecules 2

Gloria Platero Coello

Dra Físicas
Profesora de Investigación. CSIC
Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid

10/04/2025

18:00 - 19:00

Introduction

María José Calderón Prieto

DOCTORA EN CIENCIAS FÍSICAS.
INVESTIGADORA CIENTÍFICA, FÍSICA DE LA MATERIA CONDENSADA.
INSTITUTO DE CIENCIA DE MATERIALES DE MADRID, CONSEJO SUPERIOR DE
INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

11/04/2025

17:00 - 18:00

Nanostructures

María Rosa López Gonzalo

Licenciada y Doctora en Física (UAM)

Catedrática de Universidad

Universidad de las Islas Baleares, Instituto Interdisciplinar y de Sistemas Complejos

22/04/2025

17:00 - 18:00

Flying electronic qubits

Diego César Frustaglia Lencinas

Doctor en Física

Profesor Titular de Universidad.

Departamento de Física Aplicada II, Universidad de Sevilla.

23/04/2025

17:00 - 18:00

Artificial and Natural Atoms and molecules 1-2

María José Calderón Prieto

DOCTORA EN CIENCIAS FÍSICAS.

INVESTIGADORA CIENTÍFICA, FÍSICA DE LA MATERIA CONDENSADA.

INSTITUTO DE CIENCIA DE MATERIALES DE MADRID, CONSEJO SUPERIOR DE
INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

24/04/2025

17:00 - 18:00

Artificial and Natural Atoms and molecules 3-4

Gloria Platero Coello

Dra Físicas

Profesora de Investigación. CSIC

Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid

28/04/2025

17:00 - 19:00

Superconducting qubits based in superconducting circuits

Ramón Aguado Solá

Investigador Científico

Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, CSIC

06/05/2025

18:00 - 19:00

Hybrid semiconductor-superconductor qubits

Ramón Aguado Solá

Investigador Científico

Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, CSIC

07/05/2025

17:00 - 18:30

Hybrid semiconductor-superconductor qubits

Ramón Aguado Solá

Investigador Científico
Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, CSIC

08/05/2025

17:00 - 18:00

Superconducting cavities and readout

Sigmund Albert Kohler

Científico Titular
Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (ICMM, CSIC)

09/05/2025

17:00 - 17:30

Superconducting cavities and readout

Sigmund Albert Kohler

Científico Titular
Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (ICMM, CSIC)

12/05/2025

17:00 - 18:30

Spin orbit and flying electronic qubits

Diego César Frustaglia Lencinas

Doctor en Física

Profesor Titular de Universidad.

Departamento de Física Aplicada II, Universidad de Sevilla.

13/05/2025

17:00 - 18:00

Superconducting qubits based in superconducting circuits

Ramón Aguado Solá

Investigador Científico

Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, CSIC

14/05/2025

18:00 - 19:00

Tutoría

Gloria Platero Coello

Dra Físicas

Profesora de Investigación. CSIC

Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid

15/05/2025

18:00 - 19:00

Hybrid semiconductor-superconductor qubits

Ramón Aguado Solá

Investigador Científico
Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, CSIC

16/05/2025

18:00 - 19:00

Tutoría

María Rosa López Gonzalo

Licenciada y Doctora en Física (UAM)
Catedrática de Universidad
Universidad de las Islas Baleares, Instituto Interdisciplinar y de Sistemas Complejos

19/05/2025

18:00 - 19:00

Tutoría

Diego César Frustaglia Lencinas

Doctor en Física
Profesor Titular de Universidad.
Departamento de Física Aplicada II, Universidad de Sevilla.

20/05/2025

18:00 - 19:00

Tutoría

María José Calderón Prieto

DOCTORA EN CIENCIAS FÍSICAS.

INVESTIGADORA CIENTÍFICA, FÍSICA DE LA MATERIA CONDENSADA.
INSTITUTO DE CIENCIA DE MATERIALES DE MADRID, CONSEJO SUPERIOR DE
INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

21/05/2025

18:00 - 19:00

Tutoría

Ramón Aguado Solá

Investigador Científico
Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, CSIC

BIBLIOGRAFÍA Y ENLACES RELACIONADOS

Bibliografía

R. Winkler, Spin-orbit Coupling Effects in Two-Dimensional Electron and Hole Systems (Springer, 2003).

T. Ihn, Semiconductor Nanostructures, (Oxford University Press, 2010)

C.W.J. Beenakker, [Electron-hole entanglement in the Fermi sea](#), Proc. Int. School Phys. E. Fermi, Vol. 162 (IOS Press, Amsterdam, 2006),

Yu. V. Nazarov & Ya. M. Blanter, Quantum Transport (Cambridge University Press, 2009).

G. Burkard et al., Superconductor¿semiconductor hybrid-circuit quantum electrodynamics, Nature Reviews Physics 2, 129 (2020).

R. Aguado, [A perspective on semiconductor-based superconducting qubits](#), Appl. Phys. Lett. 117, 240501 (2020).