Guía docente de la asignatura

Nuevos Desarrollos en Física Cuántica (M44/56/3/33)

Fecha de aprobación por la Comisión Académica: 02/07/2025

Máster	Máster Universitario en Física: Radiaciones, Nanotecnología, Partículas y Astrofísica
MÓDULO	Física y Tecnología de Radiaciones
RAMA	Ciencias
CENTRO RESPONSABLE DEL TÍTULO	Escuela Internacional de Posgrado

Semestre	Segundo	**Créditos**	6	**Tipo**	Optativa	**Tipo de enseñanza**	Presencial

PRERREQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES

Los requisitos son los propios del acceso al correspondiente máster.

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

Contextualidad de los observables cuánticos. Correlaciones y localidad. Óptica cuántica. Coherencia. Fotones en Información cuántica. Nuevos experimentos en Física cuántica. Criptografía cuántica. Computación cuántica.

COMPETENCIAS

COMPETENCIAS BÁSICAS

- CB6 - Poseer y comprender conocimientos que aporten una base u oportunidad de ser originales en desarrollo y/o aplicación de ideas, a menudo en un contexto de investigación.
- CB7 - Que los estudiantes sepan aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más

Firma (1): Universidad de Granada
CIF: Q1818002F

Firmado electrónicamente según arts. 15, 17 y 41.1 del Reglamento de Adm. Electrónica de la Universidad de Granada (BOJA nº 85 de 6 de mayo de 2021)
Este documento firmado digitalmente puede verificarse en https://sede.ugr.es/verifirma/
Código seguro de verificación (CSV): E847EB2AF6A0CB09D440D2D7C82BF539
06/05/2026 - 11:02
Pág. 1 de 7

amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio.
- CB8 - Que los estudiantes sean capaces de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos y juicios.
- CB9 - Que los estudiantes sepan comunicar sus conclusiones y los conocimientos y razones últimas que las sustentan a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades.
- CB10 - Que los estudiantes posean las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

COMPETENCIAS GENERALES

- CG03 - Capacidad de trabajo en equipo. El estudiante deberá integrar su trabajo en el interés de un proyecto común.
- CG04 - Capacidad de expresar y defender en público los resultados y conclusiones obtenidos como resultado del proceso de aprendizaje. Deberá desarrollar y dominar las técnicas de comunicación oral ante cualquier auditorio. Aprender a utilizar sus potencialidades personales para presentar resultados públicamente. Adquisición del convencimiento de que su conocimiento del trabajo realizado le convierte de inmediato en foco de interés y atención.
- CG05 - Capacidad de generación de propuestas innovadoras y competitivas en la investigación y en la actividad profesional.

COMPETENCIAS ESPECÍFICAS

- CE01 - Capacidad de interpretar datos procedentes de la observación experimental o la simulación numérica.
- CE02 - Capacidad de considerar rigurosamente las limitaciones e incertidumbres en los resultados y de los métodos que pueden aplicarse para minimizarlas.
- CE03 - Capacidad de profundizar en los distintos campos de la Física y de identificar los aspectos que se encuentran en los límites del conocimiento.
- CE04 - Capacidad de formular hipótesis, idear experimentos, manejar métodos de cálculo y simulación numérica y desarrollar modelos.

COMPETENCIAS TRANSVERSALES

- CT01 - Capacidad de razonamiento crítico: el estudiante debe ser capaz de distinguir aquellos aspectos de su trabajo o del de otros que suponen innovación y avance.
- CT02 - Compromiso ético. Tanto en su etapa de alumno como posteriormente en su trabajo profesional, el estudiante debe ser consciente de la absoluta necesidad de realizar sus tareas con absoluto respeto a la honradez, la verdad y el servicio a la sociedad.
- CT03 - Capacidad de automotivación. Forma parte de la madurez que debe alcanzarse en el proceso formativo a estos niveles: las dificultades han de enfrentarse con decisión y confianza.
- CT04 - Capacidad de reconocimiento de la diversidad y multiculturalidad. Forma parte de la actitud vital que se supone al graduado: su conciencia social ha de guiar aquellos aspectos de su profesión que involucren a otros miembros de la comunidad.

Firma (1): Universidad de Granada
CIF: Q1818002F

Firmado electrónicamente según arts. 15, 17 y 41.1 del Reglamento de Adm. Electrónica de la Universidad de Granada (BOJA nº 85 de 6 de mayo de 2021)
Este documento firmado digitalmente puede verificarse en https://sede.ugr.es/verifirma/ 06/05/2026 - 11:02
Código seguro de verificación (CSV): E847EB2AF6A0CB09D440D2D7C82BF539 Pág. 2 de 7

COMPETENCIAS

COMPETENCIAS BÁSICAS

- CB6 - Poseer y comprender conocimientos que aporten una base u oportunidad de ser originales en desarrollo y/o aplicación de ideas, a menudo en un contexto de investigación.
- CB7 - Que los estudiantes sepan aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio.
- CB8 - Que los estudiantes sean capaces de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos y juicios.
- CB9 - Que los estudiantes sepan comunicar sus conclusiones y los conocimientos y razones últimas que las sustentan a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades.
- CB10 - Que los estudiantes posean las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

COMPETENCIAS GENERALES

- CG03 - Capacidad de trabajo en equipo. El estudiante deberá integrar su trabajo en el interés de un proyecto común.
- CG04 - Capacidad de expresar y defender en público los resultados y conclusiones obtenidos como resultado del proceso de aprendizaje. Deberá desarrollar y dominar las técnicas de comunicación oral ante cualquier auditorio. Aprender a utilizar sus potencialidades personales para presentar resultados públicamente. Adquisición del convencimiento de que su conocimiento del trabajo realizado le convierte de inmediato en foco de interés y atención.
- CG05 - Capacidad de generación de propuestas innovadoras y competitivas en la investigación y en la actividad profesional.

COMPETENCIAS ESPECÍFICAS

- CE01 - Capacidad de interpretar datos procedentes de la observación experimental o la simulación numérica.
- CE02 - Capacidad de considerar rigurosamente las limitaciones e incertidumbres en los resultados y de los métodos que pueden aplicarse para minimizarlas.
- CE03 - Capacidad de profundizar en los distintos campos de la Física y de identificar los aspectos que se encuentran en los límites del conocimiento.
- CE04 - Capacidad de formular hipótesis, idear experimentos, manejar métodos de cálculo y simulación numérica y desarrollar modelos.

COMPETENCIAS TRANSVERSALES

- CT01 - Capacidad de razonamiento crítico: el estudiante debe ser capaz de distinguir aquellos aspectos de su trabajo o del de otros que suponen innovación y avance.
- CT02 - Compromiso ético. Tanto en su etapa de alumno como posteriormente en su trabajo profesional, el estudiante debe ser consciente de la absoluta necesidad de realizar

Firma (1): Universidad de Granada
CIF: Q1818002F

Firmado electrónicamente según arts. 15, 17 y 41.1 del Reglamento de Adm. Electrónica de la Universidad de Granada (BOJA nº 85 de 6 de mayo de 2021)
Este documento firmado digitalmente puede verificarse en https://sede.ugr.es/verifirma/ 06/05/2026 - 11:02
Código seguro de verificación (CSV): E847EB2AF6A0CB09D440D2D7C82BF539 Pág. 3 de 7

sus tareas con absoluto respeto a la honradez, la verdad y el servicio a la sociedad.
- CT03 - Capacidad de automotivación. Forma parte de la madurez que debe alcanzarse en el proceso formativo a estos niveles: las dificultades han de enfrentarse con decisión y confianza.
- CT04 - Capacidad de reconocimiento de la diversidad y multiculturalidad. Forma parte de la actitud vital que se supone al graduado: su conciencia social ha de guiar aquellos aspectos de su profesión que involucren a otros miembros de la comunidad.

RESULTADOS DE APRENDIZAJE (Objetivos)

Como resultado de su aprendizaje:

a) El alumno **debería conocer y comprender**:

- Las bases teóricas cuánticas de la física moderna, especialmente en su aplicación a recientes fenómenos experimentales.
- La importancia de algunas de las nuevas aplicaciones desarrolladas en el campo de la Información cuántica.

b) El alumno **debería ser capaz de**:

- Adquirir un dominio de la disciplina que le permita iniciarse en nuevos campos a través del estudio independiente.
- Desarrollar un pensamiento crítico que le permita juzgar la corrección y adecuación de los contenidos distribuidos a través de los diversos canales de información científica.
- Resolver los problemas planteados, aplicando los métodos matemáticos y numéricos requeridos.
- Captar lo esencial de la aplicación de la teoría cuántica a algunas nuevas tecnologías en creciente desarrollo.

PROGRAMA DE CONTENIDOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS

TEÓRICO

TEMARIO TEÓRICO:

1. **Contextualidad y no localidad de Bell.** Teoremas de Einstein-Podolsky-Rosen, de Bell y de Bell- Kochen-Specker. Realismo local, correlaciones cuánticas y experimentos. Entrelazamiento.
2. **Óptica cuántica.** Coherencia. Interferometría. Experimentos con fotones entrelazados.
3. **Nuevos experimentos y aplicaciones en física cuántica.** Comprobaciones recientes de las desigualdades de Bell. Teleportación. Criptografía. Complementariedad.
4. **Computación cuántica.** Puertas y circuitos cuánticos. Algoritmos cuánticos: transformada de Fourier cuántica. Algoritmos de búsqueda, algoritmo de Grover. Algoritmos de factorización, algoritmo de Shor.

PRÁCTICO

Firma (1): Universidad de Granada
CIF: Q1818002F

Firmado electrónicamente según arts. 15, 17 y 41.1 del Reglamento de Adm. Electrónica de la Universidad de Granada (BOJA nº 85 de 6 de mayo de 2021)
Este documento firmado digitalmente puede verificarse en https://sede.ugr.es/verifirma/ 06/05/2026 - 11:02
Código seguro de verificación (CSV): E847EB2AF6A0CB09D440D2D7C82BF539 Pág. 4 de 7

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA FUNDAMENTAL

- Bertlmann, R. A. and Zeilinger, A.; Quantum [Un]speakables. From Bell to Quantum Information. Springer; 2002. ISBN: 3-540-42756-2.
- Espagnat, B. D'; Veiled Reality. An analysis of Present-day Quantum Mechanical Concepts. Addison-Wesley, 1995. ISBN: 0-201-56988-4.
- Fox, M.; Quantum Optic. An introduction. Oxford Univ. Press; Oxford, 2004. ISBN: 0–19–856672– 7, 978–0–19–856672–4.
- Garrison, J. C. and R. Y. Chiao, Quantum Optics, Oxford Univ. Press, Oxford, 2008. ISBN: 978-0- 19-850886-1.
- Gerry, C. C. and Knight, P. L., Introductory Quantum Optics, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2005. ISBN: 0-521-82035-9.
- Home, D., Kar, G. and Majumdar A. S.; 75 years of quantum entanglement: Foundations and Information Theoretic Applications. American Institute of Physics; New York, 2011. ISBN: 978-0- 7354-0945-3.
- Jaeger, Gregg. Quantum Information, an overview. Springer, 2007. ISBN: 0-387-35725-4.
- Nielsen, Michael A. & Chuang, Isaac L.; Quantum Computation and Quantum Information. Cambridge University Press; Cambridge, 2010. ISBN: 978-1-107-00217-3.
- Paul, H.; Introduction to Quantum Optics. From light Quanta to Quantum Teleportation. Cambridge Univ. Press; Cambridge, 2004. ISBN: 0-521-83563-1.
- Wheeler, J.A. and Zurek, W.H.; Quantum Theory and Measurement. Princenton Univ. Press; New Jersey, 1983. ISBN: 0-691-08315-0.
- Yeung, Raymond W.; A first course in information theory. Kluver Academic / Plenum Publishers; 2002. ISBN: 0-306-46791-7, 978-0-306-46791-2.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- Baggot, J.; The meaning of quantum theory, Oxford Univ., Oxford, 1992.
- Boscá, M.C.; Computación, teletransporte y criptografía cuánticas, RBA, 2017.
- Miller, A.I., ed.; Sixty-two Years of Uncertainty. Historical, Philosophical, and Physical Inquiries into the Foundations of Quantum Mechanics, NATO ASI Series, Series B: Physics Vol. 226, Plenum, Nueva York, 1990.
- V.V.A.A.; Misterios de la Física Cuántica, Investigación y Ciencia, Temas 10, 1997.
- V.V.A.A.; Fronteras de la Física Cuántica, Investigación y Ciencia, Temas 86, 2016.
- https://personal.us.es/adan/Carpetas01/Material/Bibliography.pdf

ENLACES RECOMENDADOS

E-prints:

- http://arxiv.org/archive/quant-ph
- Quantum Computing in Nature: http://www.nature.com/nature/journal/v463/n7280/full/463441a.html

Grupos de investigación:

- https://www.oqi.ox.ac.uk/home
- www.quantumoptics.net

Firma (1): Universidad de Granada
CIF: Q1818002F

Firmado electrónicamente según arts. 15, 17 y 41.1 del Reglamento de Adm. Electrónica de la Universidad de Granada (BOJA nº 85 de 6 de mayo de 2021)
Este documento firmado digitalmente puede verificarse en https://sede.ugr.es/verifirma/ 06/05/2026 - 11:02
Código seguro de verificación (CSV): E847EB2AF6A0CB09D440D2D7C82BF539 Pág. 5 de 7

- http://vcq.quantum.at/
- https://www.ritce2020.hbar.es/

Otros enlaces (alguno con apuntes):

- www.fisicacuantica.es
- http://www.oberlin.edu/physics/dstyer/StrangeQM/history.html
- http://www.cse.iitd.ernet.in/~suban/quantum/
- https://people.eecs.berkeley.edu/~vazirani/
- https://iqim.caltech.edu/
- https://iqim.caltech.edu/news/media-archive/
- http://www.cse.iitd.ernet.in/~suban/quantum/

METODOLOGÍA DOCENTE

- MD01 Lección magistral (Clases teóricas-expositivas). Para transmitir los contenidos de las materias del módulo motivando al alumnado a la reflexión, facilitándole el descubrimiento de las relaciones entre diversos conceptos y formándole una mentalidad crítica.
- MD02 Actividades prácticas (Clases prácticas). Para desarrollar en el alumnado las habilidades instrumentales de la materia.
- MD03 Seminarios. Para desarrollar en el alumnado las competencias cognitivas y procedimentales de la materia.
- MD04 Tutorías académicas: Para orientar al trabajo autónomo y grupal del alumnado, profundizar en distintos aspectos de la materia y orientar la formación académica integral del estudiante.
- MD05 Estudio y trabajo autónomo del alumnado. Para favorecer en el estudiante la capacidad para autorregular su aprendizaje, planificándolo, diseñándolo, evaluándolo y adecuándolo a sus especiales condiciones e intereses.
- MD06 Estudio y trabajo en grupo. Para favorecer en los estudiantes la generación e intercambio de ideas, la identificación y análisis de diferentes puntos de vista sobre una temática, la generalización o transferencia de conocimiento y la valoración crítica del mismo.

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

EVALUACIÓN ORDINARIA

La evaluación continua se realizará mediante los siguientes ítems:

- El seguimiento del trabajo personal de los alumnos durante todo el curso, que valorará su asistencia y su participación activa en las clases y en la resolución de los problemas que, en su caso, se propongan por los profesores.
- La evaluación de un trabajo final sobre un tema relacionado con las materias desarrolladas en la asignatura y aceptado de forma previa por uno de sus profesores, realizado de forma individual por cada alumno. Este trabajo consistirá en la entrega de una memoria escrita, junto con su subsiguiente exposición y defensa oral pública.

Firma (1): Universidad de Granada
CIF: Q1818002F

Firmado electrónicamente según arts. 15, 17 y 41.1 del Reglamento de Adm. Electrónica de la Universidad de Granada (BOJA nº 85 de 6 de mayo de 2021)
Este documento firmado digitalmente puede verificarse en https://sede.ugr.es/verifirma/ 06/05/2026 - 11:02
Código seguro de verificación (CSV): E847EB2AF6A0CB09D440D2D7C82BF539 Pág. 6 de 7

La evaluación continua culminará en una calificación final que, en la convocatoria ordinaria, se obtendrá según un baremo en el que se integrarán a partes iguales los dos anteriores ítems.

Nota: en el caso de utilizar herramientas de IA para el desarrollo de la asignatura, el estudiante debe adoptar un uso ético y responsable de las mismas. Se deben seguir las recomendaciones contenidas en el documento de "Recomendaciones para el uso de la inteligencia artificial en la UGR" publicado en esta ubicación:

https://ceprud.ugr.es/formacion-tic/inteligencia-artificial/recomendaciones-ia#contenidoo

EVALUACIÓN EXTRAORDINARIA

La evaluación en la convocatoria extraordinaria culminará en una calificación final que se obtendrá según un baremo en el que contribuirán a partes iguales:

a) La nota obtenida en un examen, oral o escrito, sobre los contenidos del programa completo de la asignatura;

b) La evaluación de la memoria de un trabajo realizado de forma individual por cada alumno, sobre un tema relacionado con la asignatura y aceptado de forma previa por uno de sus profesores.

EVALUACIÓN ÚNICA FINAL

- De acuerdo con la "Normativa de evaluación y calificación" de la Universidad de Granada, para acogerse a la evaluación única final el estudiante deberá solicitarlo al Coordinador del Máster, en el plazo establecido en la normativa y a través del procedimiento electrónico habilitado, alegando y acreditando las razones que le asisten para no poder seguir el sistema de evaluación continua.
- La evaluación única final se efectuará en un solo acto académico y consistirá, de acuerdo con la normativa vigente de la Universidad de Granada, en la realización de un examen, que podrá ser oral o escrito, y en el que se tendrá que: a) responder correctamente a una serie de cuestiones de teoría, y b) resolver algunos problemas de aplicación, referentes en todo caso al programa oficial de la asignatura. Dicho examen aportará el 100% de la calificación final.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Información de interés para estudiantado con discapacidad y/o Necesidades Específicas de Apoyo Educativo (NEAE): Gestión de servicios y apoyos (https://ve.ugr.es/servicios/atencion-social/estudiantes-con-discapacidad).

Firma (1): Universidad de Granada
CIF: Q1818002F

Firmado electrónicamente según arts. 15, 17 y 41.1 del Reglamento de Adm. Electrónica de la Universidad de Granada (BOJA nº 85 de 6 de mayo de 2021)
Este documento firmado digitalmente puede verificarse en https://sede.ugr.es/verifirma/
Código seguro de verificación (CSV): E847EB2AF6A0CB09D440D2D7C82BF539
06/05/2026 - 11:02
Pág. 7 de 7