Guía docente de la asignatura

Mecánica Cuántica Avanzada en Espacios de Hilbert (M53/56/2/26)

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

Máster	Máster Universitario en Física y Matemáticas - Fisymat
MÓDULO	Módulo IV : Física Teórica y Matemática
RAMA	Ciencias
CENTRO RESPONSABLE DEL TÍTULO	Escuela Internacional de Posgrado

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

PRERREQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES

Conocimientos de física cuántica básicos y de mètodos matemáticos de la física incluyendo variable compleja, diagonalización y ecuaciones diferenciales

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

1) Partículas y ondas. Interacción de partículas y campos. Localizabilidad y monocromaticidad. El campo acústico, ondas sonoras y fonones. Radiación del solido mudo.

2) Bases físicas de la formulación axiomática de Von Neumann. Formulación de Dirac y Espacios de Hilbert equipados (tripletes de Gelfand). Representaciones proyectivas, recubridoresuniversales y el problema de las fases en Mecánica Cuántica. La transformación de Wigner yHusimi, límite semiclásico, interpretación estadística.

3)Análisis de la estructura de los operadores mecano cuánticos de uso más frecuente. Dominios y recorridos. Espectros discreto y continuo.

4)Estudio de procesos dependientes del tiempo. Colisiones y resonancias. Propiedades analíticas. Función de Green. Resolvente. Estados ligados. Integrales de camino. Teoría formal decolisiones. Operadores de Moeller. Matriz S. Unitariedad. Ecuación de Lippmann-Schwinger. Dispersión múltiple. Naturaleza de las resonancias. Regeneración cuántica.

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 - 10:42
Código seguro de verificación (CSV): 3DAC6F17546F62D95C64AB14A7EF4A63 Pág. 1 de 8

5)Simetrías en Mecánica Cuántica. Teorema de Noether. Rupturas de la simetría explícita,espontánea y anómala. Aplicaciones de la teoría de Grupos y las representaciones irreducibles.Invariancia galileana. Extensiones centrales del Algebra de Lie. Regla de superselección de la masa. Invariancia relativista y ecuaciones de Dirac y Klein-Gordon.

6)Renormalización en Mecánica Cuántica. Extensiones autoadjuntas de operadores. Grupo de renormalización. Análisis de puntos fijos.

7)Procesos cinéticos e interacción con baños térmicos. Ley de crecimiento de entropía y equilibrioen sistemas cuánticos.

8)Transiciones de fase cuánticas.

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

- CG01 - Saber trabajar en un equipo multidisciplinar y gestionar el tiempo de trabajo
- CG02 - Capacidad de generar y desarrollar de forma independiente propuestas innovadoras y competitivas en la investigación y en la actividad profesional en el ámbito científico de la Física y Matemáticas
- CG03 - Presentar públicamente los resultados de una investigación o un informe técnico, comunicar las conclusiones a un tribunal especializado, personas u organizaciones interesadas, y debatir con sus miembros cualquier aspecto relativo a los mismos
- CG04 - Saber comunicarse con la comunidad académica y científica en su conjunto, con la empresa y con la sociedad en general acerca de la Física y/o Matemáticas y sus implicaciones académicas, productivas o sociales
- CG05 - Adquirir la capacidad de desarrollar un trabajo de investigación científica de forma independiente y en toda su extensión. Ser capaz de buscar y asimilar bibliografía científica, formular las hipótesis, plantear y desarrollar problemas y elaborar de conclusiones de los resultados obtenidos
- CG06 - Adquirir la capacidad de diálogo y cooperación con comunidades científicas y

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 - 10:42
Código seguro de verificación (CSV): 3DAC6F17546F62D95C64AB14A7EF4A63 Pág. 2 de 8

empresariales de otros campos de investigación, incluyendo ciencias sociales y naturales

COMPETENCIAS ESPECÍFICAS

- CE01 - Resolver problemas físicos y matemáticos, planificando su resolución en función de las herramientas disponibles y de las restricciones de tiempo y recursos
- CE02 - Desarrollar la capacidad de decidir las técnicas adecuadas para resolver un problema concreto con especial énfasis en aquellos problemas asociados a la Modelización en Ciencias e Ingeniería, Astrofísica, Física, y Matemáticas
- CE03 - Tener capacidad para elaborar y desarrollar razonamientos matemáticos avanzados, y profundizar en los distintos campos de las matemáticas
- CE04 - Tener capacidad para elaborar y desarrollar razonamientos físicos avanzados, y profundizar en los distintos campos de la física y astrofísica
- CE05 - Saber obtener e interpretar datos de carácter físico y/o matemático que puedan ser aplicados en otras ramas del conocimiento
- CE06 - Demostrar la capacidad necesaria para realizar un análisis crítico, evaluación y síntesis de resultados e ideas nuevas y complejas en el campo de la astrofísica, física, matemáticas y biomatemáticas
- CE07 - Capacidad para comprender y poder aplicar conocimientos avanzados de matemáticas y métodos numéricos o computacionales a problemas de biología, física y astrofísica, así como elaborar y desarrollar modelos matemáticos en ciencias, biología e ingeniería.
- CE08 - Capacidad de modelar, interpretar y predecir a partir de observaciones experimentales y datos numéricos

COMPETENCIAS TRANSVERSALES

- CT01 - Fomentar el espíritu innovador, creativo y emprendedor
- CT03 - Desarrollar el razonamiento crítico y la capacidad de crítica y autocrítica
- CT05 - Capacidad de aprendizaje autónomo y responsabilidad (análisis, síntesis, iniciativa y trabajo en equipo

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

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 - 10:42
Código seguro de verificación (CSV): 3DAC6F17546F62D95C64AB14A7EF4A63 Pág. 3 de 8

continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

COMPETENCIAS GENERALES

- CG01 - Saber trabajar en un equipo multidisciplinar y gestionar el tiempo de trabajo
- CG02 - Capacidad de generar y desarrollar de forma independiente propuestas innovadoras y competitivas en la investigación y en la actividad profesional en el ámbito científico de la Física y Matemáticas
- CG03 - Presentar públicamente los resultados de una investigación o un informe técnico, comunicar las conclusiones a un tribunal especializado, personas u organizaciones interesadas, y debatir con sus miembros cualquier aspecto relativo a los mismos
- CG04 - Saber comunicarse con la comunidad académica y científica en su conjunto, con la empresa y con la sociedad en general acerca de la Física y/o Matemáticas y sus implicaciones académicas, productivas o sociales
- CG05 - Adquirir la capacidad de desarrollar un trabajo de investigación científica de forma independiente y en toda su extensión. Ser capaz de buscar y asimilar bibliografía científica, formular las hipótesis, plantear y desarrollar problemas y elaborar de conclusiones de los resultados obtenidos
- CG06 - Adquirir la capacidad de diálogo y cooperación con comunidades científicas y empresariales de otros campos de investigación, incluyendo ciencias sociales y naturales

COMPETENCIAS ESPECÍFICAS

- CE01 - Resolver problemas físicos y matemáticos, planificando su resolución en función de las herramientas disponibles y de las restricciones de tiempo y recursos
- CE02 - Desarrollar la capacidad de decidir las técnicas adecuadas para resolver un problema concreto con especial énfasis en aquellos problemas asociados a la Modelización en Ciencias e Ingeniería, Astrofísica, Física, y Matemáticas
- CE03 - Tener capacidad para elaborar y desarrollar razonamientos matemáticos avanzados, y profundizar en los distintos campos de las matemáticas
- CE04 - Tener capacidad para elaborar y desarrollar razonamientos físicos avanzados, y profundizar en los distintos campos de la física y astrofísica
- CE05 - Saber obtener e interpretar datos de carácter físico y/o matemático que puedan ser aplicados en otras ramas del conocimiento
- CE06 - Demostrar la capacidad necesaria para realizar un análisis crítico, evaluación y síntesis de resultados e ideas nuevas y complejas en el campo de la astrofísica, física, matemáticas y biomatemáticas
- CE07 - Capacidad para comprender y poder aplicar conocimientos avanzados de matemáticas y métodos numéricos o computacionales a problemas de biología, física y astrofísica, así como elaborar y desarrollar modelos matemáticos en ciencias, biología e ingeniería.
- CE08 - Capacidad de modelar, interpretar y predecir a partir de observaciones experimentales y datos numéricos

COMPETENCIAS TRANSVERSALES

- CT01 - Fomentar el espíritu innovador, creativo y emprendedor
- CT03 - Desarrollar el razonamiento crítico y la capacidad de crítica y autocrítica
- CT05 - Capacidad de aprendizaje autónomo y responsabilidad (análisis, síntesis, iniciativa y trabajo en equipo

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 - 10:42
Código seguro de verificación (CSV): 3DAC6F17546F62D95C64AB14A7EF4A63 Pág. 4 de 8

RESULTADOS DE APRENDIZAJE (Objetivos)

El alumno sabrá/comprenderá: El papel que desempeña el Espacio de Hilbert y sus extensiones en Mecánica Cuántica Comprender el significado de los estados ligados, estados de dispersión y resonancias. Entender la interacción de una partícula con su entorno en equilibrio

El alumno será capaz de:Analizar operadores sencillos de interés en Mecánica Cuántica y determinar sus espectros discretos y continuos. Analizar problemas de dispersión de partículas mediante potenciales.

PROGRAMA DE CONTENIDOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS

TEÓRICO

1)Partículas y ondas. Interacción de partículas y campos. Localizabilidad y monocromaticidad. El campo acústico, ondas sonoras y fonones. Radiación del sólido mudo. Espacio de Hilbert.

2)Bases físicas de la formulación axiomática. Formulación de Von Neumann. Formulación de Dirac. Espacios de Hilbert equipados (tripletes de Gelfand).

3)Estados. Representaciones proyectivas, recubridores universales y el problema de las fases en MC. La transformación de Wigner y Husimi, límite semiclásico, interpretación estadística.

4)Operadores. Análisis de la estructura de los operadores mecano cuánticos de uso más frecuente. Dominios y recorridos. Espectros discreto y continuo.

5)Procesos dependientes del tiempo. Colisiones y resonancias. Propiedades analíticas. Función de Green. Resolvente. Estados ligados. Integrales de camino. Teoría formal de colisiones. Operadores de Moeller. Matriz S. Unitariedad. Ecuación de Lippmann-Schwinger. Dispersión múltiple. Naturaleza de las resonancias. Regeneracion cuántica. Fase de Berry.

6)Simetrías en Mecánica Cuántica. Teorema de Noether. Rupturas de la simetría explícita, espontánea y anómala. Aplicaciones de la teoría de Grupos y las representaciones irreducibles. Invariancia galileana. Extensiones centrales del Algebra de Lie. Regla de superselección de la masa. Invariancia relativista y ecuaciones de Dirac y Klein-Gordon.

7)Procesos cinéticos. Matriz densidad. Interacción con baños térmicos. Ley de crecimiento de entropía y equilibrio.

8)Medidas cuánticas. Entropía cuántica y pureza. Decoherencia. Colapso dinámico.

9) Renormalización en mecánica cuántica. Extensiones autoadjuntas e índices de defecto. Análisis de puntos fijos.

10)El problema inverso. Ecuación de Marchenko y sus soluciones.

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 - 10:42
Código seguro de verificación (CSV): 3DAC6F17546F62D95C64AB14A7EF4A63 Pág. 5 de 8

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA FUNDAMENTAL

A. Galindo y P. Pascual , Vols. I y II Mecánica Cuántica, Eudema (1990)

M. Reed , B. Simon, Methods of Modern Mathematical Analysis , vols. I,II,II y IV (Academic Press)

K. Chadan y P. C. Sabatier, Inverse Problems in Quantum Scattering Theory, Springer 197

B. M. Levitan , I. S. Sargsjan, Sturm-Liouville and Dirac Operators, Kluwer , 1990

The Schrödinger Equation, F. A. Brezin, M. A. Shubin, Kluwer , 1991

J, von Neumann, Mathematical Foundations of Quantum Mechanics, Princeton, 1996

Gelfand , Shilov, Theory of Distributions, 5 vols.

L. Carr. Understanding quantum phase transitions - 2010. CRC press.

Hislop, Sigal, Introduction to Spectral Theory With Applications to Schrödinger Operators, Springer, 1996

E. Ruiz Arriola, Información Cuántica y aplicaciones: curso introductorio para físicos. Ed. Flemming (Granada) 2022

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

METODOLOGÍA DOCENTE

- MD01 Lección magistral
- MD02 Resolución de problemas y estudio de casos prácticos
- MD04 Seminarios
- MD06 Realización de trabajos individuales o en grupos
- MD09 Seguimiento del TFM

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

EVALUACIÓN ORDINARIA

E1. Valoración de las pruebas, ejercicios, prácticas o problemas realizados individualmente o en grupo a lo largo del curso (de 10% a 20%)

E2. Realización, exposición y defensa final de informes, trabajos, proyectos y memorias

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 - 10:42
Código seguro de verificación (CSV): 3DAC6F17546F62D95C64AB14A7EF4A63 Pág. 6 de 8

realizadas de forma individual o en grupo (de 10% a 20%)

E3. Realización de exámenes parciales o finales escritos (de 50% a 60%)

E4. Valoración de la asistencia y participación del alumno en clase y en los seminarios, y sus aportaciones en las actividades desarrolladas (de 10% a 20%)(estos porcentajes son orientativos debido a lo incierto del curso.

En caso de excenario mixto siendo la mezcla porcentual indeterminada pueden estar sujetos a variaciones)

Herramienta: Prado + Google meet

Descripción: Entrega de problemas planteados en las clases con limitación de franja horariasuperior a las 18 horas.

Criterios de evaluación: Planteamiento del problema, corrección de la solución, originalidad de la solución (verificable mediante tutoría telemática posterior), capacidad de interrelación entre conceptos. Porcentaje sobre calificación final: 50%

Descripción: Entrega de problemas planteados en las clases con limitación de franja horariainferior a las 3 horas.

Criterios de evaluación: Planteamiento del problema, corrección de la solución, originalidad de la solución (verificable mediante tutoría telemática posterior), capacidad de interrelación entre conceptos. Porcentaje sobre calificación final: 50%

EVALUACIÓN EXTRAORDINARIA

OPCIÓN 1 (Examen)

Esta es la opción por defecto

Herramienta: Prado + Google meet

Descripción: Entrega de problemas planteados en las clases con limitación de franja horariainferior a las 3 horas.

Criterios de evaluación: Planteamiento del problema, corrección de la solución, originalidad de la solución (verificable mediante tutoría telemática posterior), capacidad de interrelación entre conceptos.

Porcentaje sobre calificación final: 100%

OPCIÓN 2 (Examen + Problemas curso como en convocatoria ordinaria)

Esta opción ha de ser especificada ANTES del examen Nota final= 50% problemas curso+50% examen

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

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 - 10:42
Código seguro de verificación (CSV): 3DAC6F17546F62D95C64AB14A7EF4A63 Pág. 7 de 8

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 o correo de la UGR en caso de requerimiento específico. La autenticidad de los documentos aportados será eventualmente justificada en tutoría por el estudiante oralmente (google-meet o presencialmente) bajo requerimiento explícito del profesor lo que contribuirá al ajuste fino de la evaluación de las pruebas. En los exámenes de problemas los cálculos "en sucio" son pruebas documentales con la misma categoría y no se admiten repuestas o razonamientos del tipo "puede demostrarse que" si aluden a la pregunta formulada específicamente. A menos que se indique lo contrario, y cuando proceda, los exámenes serán con cámara y micrófono abiertos permitiendo una identificación visual y sonora amplia del entorno inmediato. El acceso a google meet se hará regularmente a través del canal oficialde la ugr mediante la cuenta de usuario en go.ugr . En ningún caso se admitirá acceso a examen de otra manera

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): 3DAC6F17546F62D95C64AB14A7EF4A63
06/05/2026 - 10:42
Pág. 8 de 8