18-19

GRADO EN FÍSICA
CUARTO CURSO

GUÍA DE ESTUDIO PÚBLICA



MECÁNICA CUÁNTICA

CÓDIGO 61044075

UNED

18-19

MECÁNICA CUÁNTICA

CÓDIGO 61044075

ÍNDICE

PRESENTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN
REQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES PARA CURSAR LA ASIGNATURA
EQUIPO DOCENTE
HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE
TUTORIZACIÓN EN CENTROS ASOCIADOS
COMPETENCIAS QUE ADQUIERE EL ESTUDIANTE
RESULTADOS DE APRENDIZAJE
CONTENIDOS
METODOLOGÍA
SISTEMA DE EVALUACIÓN
BIBLIOGRAFÍA BÁSICA
BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA
RECURSOS DE APOYO Y WEBGRAFÍA

Nombre de la asignatura	MECÁNICA CUÁNTICA
Código	61044075
Curso académico	2018/2019
Departamento	FÍSICA FUNDAMENTAL
Título en que se imparte	GRADO EN FÍSICA
Curso	CUARTO CURSO
Periodo	SEMESTRE 1
Tipo	OPTATIVAS
Nº ETCS	5
Horas	125.0
Idiomas en que se imparte	CASTELLANO

PRESENTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN

La física cuántica es un pilar de la ciencia moderna. Desarrollada inicialmente para explicar el dominio atómico y subatómico, su campo de aplicación no ha dejado de crecer con el tiempo, y en la actualidad abarca la mayor parte de la física.
Dentro del Grado en Física, la materia Física Cuántica, se divide en tres asignaturas, dos de ellas en el tercer curso (ambas obligatorias y de 6 ECTS) y una optativa de cuarto curso (de 5 ECTS).
La primera de esas asignaturas (*Física Cuántica I*) es el primer paso en la formalización de las propiedades de la física del mundo microscópico, mientras que la segunda (*Física Cuántica II*) hace un desarrollo más aplicado, prestando especial atención a los métodos de aproximación más habituales, y estudiando sistemas físicos básicos de la física atómica y molecular.
Una vez que se han estudiado las asignaturas *Física Cuántica I* y *Física Cuántica II* en el tercer curso del Grado, en las que se han desarollado las bases del formalismo y diversas aplicaciones, la asignatura ***Mecánica Cuántica***, optativa de cuarto curso, tiene un enfoque más formal que las anteriores y pone el énfasis en aspectos más modernos de la teoría.
Efectivamente, ese enfoque más formal y abstracto se refleja en el estudio de tanto el formalismo de los espacios de Hilbert (donde se definen los estados y los observables), como el análisis de los estados puros y estados mezcla, la importancia de las simetrías en las propiedades de los operadores y las constantes de movimiento, así como problemas modernos como entrelazamiento, no localidad, medida, etc. También se incluyen temas relativos a la comunicación y la computación cuántica.
El objetivo es que el estudiante madure en la comprensión de la teoría, y de su estructura lógica y matemática, sirviendo de acicate para profundizar en su conocimiento.
La asignatura contribuirá a la adquisición de algunas competencias básicas, como ser capaz de realizar un aprendizaje autónomo y de gestionar eficazmente su tiempo, así como de utilizar la información para la actualización de sus conocimientos, así como la facilidad de analizar críticamente los problemas para adaptarse a nuevas situaciones o teorías físicas.

REQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES PARA CURSAR LA ASIGNATURA

Para abordar esta asignatura es necesario haber estudiado los contenidos de las dos asignaturas previas de la materia Física Cuántica del Grado en Física, que son *Física Cuántica I* y *Física Cuántica II*.
Además, debe conocerse bien la estructura de los espacios de Hilbert y manejar con soltura suficiente la transformada de Fourier (conceptos que se han estudiado en las asignaturas de *Métodos Matemáticos I* y *II*). Ambas herramientas se han utilizado extensamente en *Física Cuántica I* y *II*.

EQUIPO DOCENTE

Nombre y Apellidos	JAVIER RODRIGUEZ LAGUNA (Coordinador de asignatura)
Correo Electrónico	jrlaguna@fisfun.uned.es
Teléfono	91398-7602
Facultad	FACULTAD DE CIENCIAS
Departamento	FÍSICA FUNDAMENTAL

Nombre y Apellidos	EVA MARIA FERNANDEZ SANCHEZ
Correo Electrónico	emfernandez@fisfun.uned.es
Teléfono	91398-8863
Facultad	FACULTAD DE CIENCIAS
Departamento	FÍSICA FUNDAMENTAL

HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE

La asignatura se imparte virtualizada, y en el curso virtual se ofrecen *Foros de debate* (que tiene como objetivo de ayudar a generar debate entre los estudiantes acerca de conceptos o aplicaciones y, como consecuencia, mejorar el aprendizaje) y herramientas de comunicación para que los estudiantes pueden comunicarse con el Equipo Docente.
Al plantear preguntas en los foros (dudas de teoría, ejercicios, problemas, etc.) tanto las dudas como las respuestas pueden ser también útiles para el resto de los estudiantes. Se pretende que en esos foros se inicien los debates planteando dudas o preguntas libremente, pero siempre proponiendo una respuesta meditada al respecto, aunque sea equivocada, indicando por qué se tienen dudas sobre la misma.

Horario de atención al alumno
El estudiante puede contactar en todo momento a través del curso virtual con el equipo docente.
El estudiante también podrá utilizar el correo electrónico, teléfono, o la visita personal en el horario previsto a tales fines. Para cualquier consulta personal o telefónica, los datos de contacto son:
–Dr. D. José Enrique Alvarellos Bermejo jealvar@fisfun.uned.es
Tel.: 91 398 71 20.

Miércoles, excepto en vacaciones académicas, de 12 a 14 y de 16 a 18 h. (en caso de que el miércoles sea día festivo, la guardia se realizará el siguiente día lectivo).
Despacho 2.07. Departamento de Física Fundamental. Facultad de Ciencias de la UNED.
–Dr. D. Javier Rodríguez Laguna jrlaguna@fisfun.uned.es
Tel.: 91 398 71 43.
Miércoles, excepto en vacaciones académicas, de 16 a 20 h. (en caso de que el miércoles sea día festivo, la guardia se realizará el siguiente día lectivo).
Despacho 2.01. Departamento de Física Fundamental. Facultad de Ciencias de la UNED.
–Dra. D.ª Eva María Fernández emfernandez@fisfun.uned.es
Tel.: 91 398 88 63.
Miércoles, excepto en vacaciones académicas, de 11 a 13 y de 15 a 17 h. (en caso de que el miércoles sea día festivo, la guardia se realizará el siguiente día lectivo).
Despacho 2.34. Departamento de Física Fundamental. Facultad de Ciencias de la UNED.
Dirección: c/ Paseo Senda del Rey 9. Madrid 28040.
(la Facultad de Ciencias está situada junto al río Manzanares, y al llamado *Puente de los Franceses*).

TUTORIZACIÓN EN CENTROS ASOCIADOS

En el enlace que aparece a continuación se muestran los centros asociados y extensiones en las que se imparten tutorías de la asignatura. Estas pueden ser:

•**Tutorías de centro o presenciales**: se puede asistir físicamente en un aula o despacho del centro asociado.

•**Tutorías campus/intercampus**: se puede acceder vía internet.

La información ofrecida respecto a las tutorías de una asignatura es orientativa. Las asignaturas con tutorías y los horarios del curso actual estarán disponibles en las fechas de inicio del curso académico. Para más información contacte con su centro asociado.

Consultar horarios de tutorización de la asignatura 61044075

COMPETENCIAS QUE ADQUIERE EL ESTUDIANTE

Competencias genericas del Grado

CG01 Capacidad de análisis y síntesis
CG02 Capacidad de organización y planificación
CG03 Comunicación oral y escrita en la lengua nativa
CG04 Conocimiento de una lengua extranjera
CG05 Conocimientos de informática relativos al ámbito de estudio
CG06 Capacidad de gestión de información
CG07 Resolución de problemas
CG09 Razonamiento crítico
CG10 Aprendizaje autónomo
CG11 Adaptación a nuevas situaciones

Competencias específicas FÍSICA CUÁNTICA

CE01 Tener una buena comprensión de las teorías físicas más importantes: su estructura lógica y matemática, su soporte experimental y los fenómenos que describen; en especial, tener un buen conocimiento de los fundamentos de la física moderna
CE02 Saber combinar los diferentes modos de aproximación a un mismo fenómeno u objeto de estudio a través de teorías pertenecientes a áreas diferentes
CE04 Ser capaz de identificar las analogías en la formulación matemática de problemas físicamente diferentes, permitiendo así el uso de soluciones conocidas en nuevos problemas
CE05 Ser capaz de entender y dominar el uso de los métodos matemáticos y numéricos más comúnmente utilizados, y de realizar cálculos de forma independiente, incluyendo cálculos numéricos que requieran el uso de un ordenador y el desarrollo de programas de software
CE07 Ser capaz de identificar los principios físicos esenciales que intervienen en un fenómeno y hacer un modelo matemático del mismo; ser capaz de hacer estimaciones de órdenes de magnitud y, en consecuencia, hacer aproximaciones razonables que permitan simplificar el modelo sin perder los aspectos esenciales del mismo
CE08 Ser capaz de adaptar modelos ya conocidos a nuevos datos experimentales
CE09 Adquirir una comprensión de la naturaleza y de los modos de la investigación física y de cómo ésta es aplicable a muchos campos no pertenecientes a la física, tanto para la comprensión de los fenómenos como para el diseño de experimentos para poner a prueba las soluciones o las mejoras propuestas
CE10 Ser capaz de buscar y utilizar bibliografía sobre física y demás literatura técnica, así como cualesquiera otras fuentes de información relevantes para trabajos de investigación y desarrollo técnico de proyectos
CE11 Ser capaz de trabajar con un alto grado de autonomía y de entrar en nuevos campos de la especialidad a través de estudios independientes

RESULTADOS DE APRENDIZAJE

• Manejar el formalismo matemático propio de la Mecánica Cuántica, basado en la descripción de los estados cuánticos como vectores de un espacio de Hilbert y de los observables físicos como operadores definidos en dicho espacio.
• Saber cómo representar esos estados como funciones de onda y cómo su evolución temporal viene determinada por la ecuación de Schrödinger.

•Conocer la relación entre simetrías y observables físicos.

•Conocer las imágenes de Schrödinger, Heisenberg y Dirac.

•Entender la diferencia entre estados puros y estados mezcla, y el concepto de matriz densidad.

•Entender el concepto de medida cuántica y el comportamiento de un sistema cuántico

sometido a una medida.

•Entender la noción de entrelazamiento cuántico.

•Analizar los experimentos que ponen de manifiesto el carácter no local de los fenómenos cuánticos.
•Conocer las bases de los métodos de comunicación y computación cuántica.

CONTENIDOS

EL FORMALISMO Y SU INTERPRETACIÓN

SIMETRÍAS Y LEYES DE CONSERVACIÓN EN MECÁNICA CUÁNTICA

MATRIZ DENSIDAD

ENTRELAZAMIENTO

COMUNICACIÓN CUÁNTICA

COMPUTACIÓN CUÁNTICA

METODOLOGÍA

La docencia de la asignatura se desarrolla de acuerdo a la metodología de la enseñanza a distancia característica de la UNED, en la que el trabajo autónomo personal y continuado del estudiante es muy importante. La metodología está basada en la enseñanza a distancia con el apoyo de una plataforma virtual de la UNED, que apoya este estudio autónomo mediante el curso virtual de la asignatura, en el que se ofrecen:
–los *Foros de debate* por cada uno de los temas, con intención de ayudar a generar debate entre los estudiantes acerca de conceptos o aplicaciones y, como consecuencia, mejorar el aprendizaje.
Al plantear preguntas en los foros (dudas de teoría, ejercicios, problemas, etc.), tanto las dudas como las respuestas pueden ser también útiles para el resto de los estudiantes. Se pretende que en esos foros se inicien debates planteando dudas o preguntas libremente, pero siempre proponiendo una respuesta meditada al respecto, aunque sea equivocada, indicando por qué no se tiene seguridad sobre la misma.
–herramientas de comunicación del Curso Virtual los alumnos pueden plantear sus dudas y

consultas al Equipo Docente.
- material complementario aclaratorio de la bibliografía básica, documentos de trabajo y ampliación, así como ejercicios resueltos de los temas.
El estudio se fomentará con la realización de pruebas de evaluación continua (PECs) que se propondrán a través del curso virtual. Sobre este punto, consúltese el apartado "Sistema de Evaluación".
También se ofrecerá en el curso virtual una distribución temporal (estimativa) de las diversas actividades del curso y una estimación del tiempo que se debe dedicar a cada tema. Siguiendo el esquema temporal, adaptado a sus circunstancias personales, el estudiante abordará de forma autónoma el estudio de los contenidos de la asignatura.

SISTEMA DE EVALUACIÓN

TIPO DE PRUEBA PRESENCIAL

Tipo de examen	Examen de desarrollo
Preguntas desarrollo	3
Duración del examen	120 (minutos)

Material permitido en el examen

Un libro de Tablas y Fórmulas matemáticas.
El material docente puesto a disposición en el Curso virtual, que en el margen izquierdo tiene la marca de agua vertical “Mecánica Cuántica (UNED)” y el logo de la UNED.

Criterios de evaluación

Los problemas se deben resolver realmente, no sólo indicar cómo se podrían resolver. El estudiante debe explicar con claridad los pasos y discutir los resultados, definiendo todas las variables que use y explicando las aproximaciones, la notación y las fórmulas que utilice.

% del examen sobre la nota final	0
Nota del examen para aprobar sin PEC	5
Nota máxima que aporta el examen a la calificación final sin PEC	10
Nota mínima en el examen para sumar la PEC	5

Comentarios y observaciones

El estudiante puede optar por **dos modalidades de evaluación**:

Modalidad A: consistente en una parte de evaluación continua (a través de actividades prácticas que tendrán lugar a lo largo del curso) y otra parte asociada a la calificación de una prueba presencial.

Modalidad B: consistente en la realización de una única prueba presencial. Esta modalidad es la que permite cursar la asignatura a los estudiantes que, por las circunstancias que sean, no puedan realizar en los plazos establecidos las actividades propias de la evaluación continua de la modalidad A.

El alumno optará por la modalidad A desde el momento en que participe en alguna de las actividades que componen la evaluación continua.

Información sobre la prueba presencial

En ambas modalidades, todos los alumnos realizarán la misma prueba presencial, según el sistema general de Pruebas Presenciales de la UNED. La prueba tiene una duración de dos horas, y consta de cuestiones y problemas relativos a todos los temas del programa.

En la modalidad A la calificación de las pruebas de evaluación continua se añadirá a la calificación de la Prueba Presencial siempre que en esta se obtenga una calificación superior a 5 puntos. Si no se aprueba el examen presencial el estudiante no podrá aprobar la asignatura.

En la modalidad B la calificación final de la asignatura será directamente la calificación de la Prueba Presencial.

PRUEBAS DE EVALUACIÓN CONTINUA (PEC)

¿Hay PEC? Si

Descripción

La **primera prueba (PEC-1)** consiste en una prueba objetiva (cuestiones cortas de respuesta múltiple), *on line*, sobre la materia correspondiente a la parte del temario que, según el calendario del curso, se haya impartido en el momento en el que se celebra la prueba. La contribución máxima de esta prueba a la calificación final de la asignatura es de 1 punto, siempre que se apruebe la prueba presencial.

En la segunda prueba (PEC-2) el estudiante responderá, en un plazo de varios días, a los enunciados propuestos. La descarga de los enunciados y la presentación de la solución se realizará a través de la plataforma virtual. En el Curso Virtual se notificará tanto la fecha de comienzo de la actividad como la de su entrega. Esta prueba tendrá una contribución máxima a la calificación final de la asignatura de 2 puntos, siempre que se apruebe la prueba presencial.

La calificación obtenida en la evaluación continua durante el curso se conservará para la convocatoria extraordinaria de septiembre.

Criterios de evaluación

- La PEC1 se califica de manera automática de 0 a 10 puntos, aportando cada respuesta correcta 1 punto. Se penalizarán los errores.
- La PEC2 será calificada siguiendo las mismas ideas que la corrección del examen presencial: el estudiante debe explicar con claridad los pasos y discutir los resultados, definiendo todas las variables que use y explicando las aproximaciones, notación y fórmulas que utilice.

Ponderación de la PEC en la nota final	Suma hasta un máximo de 3 puntos.
Fecha aproximada de entrega	
Comentarios y observaciones	

La PEC1 se realizará aproximadamente a principios de diciembre.
La PEC2 se realizará a finales de diciembre, aproximadamente

OTRAS ACTIVIDADES EVALUABLES

¿Hay otra/s actividad/es evaluable/s?	No
Descripción	
Criterios de evaluación	
Ponderación en la nota final	0
Fecha aproximada de entrega	
Comentarios y observaciones	

¿CÓMO SE OBTIENE LA NOTA FINAL?

La calificación final de la asignatura, si el examen presencial ha superado los 5 puntos, será la suma de la nota del examen presencial más la de la evaluación continua (en la que la PEC1 suma hasta 1 punto, y la PEC2 hasta 2 puntos).
Si no aprueba el examen presencial, el estudiante no podrá aprobar la asignatura.

La calificación obtenida en la evaluación continua durante el curso se conservará para la convocatoria extraordinaria de septiembre. Si el estudiante se presenta a la prueba presencial extraordinaria y aprueba el examen, su nota final será la suma de ambas calificaciones.

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

El material básico se pondrá a disposición de los estudiantes en el Curso virtual de la asignatura, e incluirá todos los contenidos básicos de la misma.
Por otra parte, en la bibliografía complementaria se detallan textos para un mejor conocimiento de la asignatura y una profundización en sus contenidos.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

ISBN(13):9786071601766
Título:INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA CUÁNTICA (2013, tapa blanda)
Autor/es:Luis De La Peña ;
Editorial:FONDO DE CULTURA ECONÓMICA

El texto general de mecánica cuántica
L. E. **Ballentine**, *Quantum Mechanics: A Modern Development.* World Scientific Publishing Co, 2nd edition (ISBN-10: 9810241054, ISBN-13: 978-9810241056).
cubre todos los temas habituales de un curso de Mecánica Cuántica y recoge algunos de los desarrollos más modernos de la teoría, que están contemplados en los contenidos de la asignatura.
• El Tema 1, *El formalismo y su interpretación*, se trata en más detalle en el libro de P. **García González**, J. E. **Alvarellos** y J. J **García Sanz** (*Introducción al formalismo de la mecánica cuántica*, Cuadernos de la UNED, 2a edición, 2007, ISBN(13): 9788436254563).
• Para la parte más formal del temario, puede ser recomendable la colección de artículos del libro
J. S. **Bell**, *Lo decible y lo indecible en mecánica cuántica*, Alianza Editorial, colección Alianza universidad (AU), (ISBN-10: 8420626619, ISBN-13: 978-84-206-2661-1).
Está escrito por uno de los científicos que ha aportado resultados muy importantes acerca de algunas de las propiedades más intrincadas de la mecánica cuántica.
La última edición en inglés es J. S. Bell, *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics: Collected Papers on Quantum Philosophy*. Cambridge University Press, 2nd Revised edition, 2004 (ISBN-10: 0521523389, ISBN-13: 978-0521523387).
• El texto de **Luis de la Peña**, *INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA CUÁNTICA* (Fondo de Cultura Económica, 2006) es probablemente el libro de la materia más completo en castellano. También es algo heterodoxo cuando se trata de cuestiones de interpretación. Además de los desarrollos teóricos contiene una gran cantidad de problemas resueltos. La tercera edición, en tapas blandas (ISBN: 978-6071601766), permite la descarga online de muchos más problemas desde la propia editorial.
• Otro texto en castellano muy completo es el coordinado por Carlos **Sánchez del Río** (coordinador) *FÍSICA CUÁNTICA* (Editorial Pirámide (5ª edición, 2015, ISBN 978-84-368-3304-1), que es también recomendado para las asignaturas Física Cuántica I y Física Cuántica II del tercer curso de grado. La última edición de este libro incluye dos apéndices dedicados a la información cuántica y al entrelazamiento de sistemas cuánticos.
• Para los últimos capítulos del temario es interesante el libro de Michel **Le Bellac** *"A Short Introduction to Quantum Information and Quantum Computation"*, Cambridge University Press, 2006 (ISBN-10: 0521860563, ISBN-13: 978-0521860567). Tiene edición electrónica.

• Por otra parte, para una discusión a un nivel más divulgativo de esa parte más formal del temario, un libro que pudiera ser de interés es: A. D. **Aczel**, *"Entrelazamiento"*, Editorial Crítica (2004). Hay varias ediciones, en tapa dura y en rústica.

RECURSOS DE APOYO Y WEBGRAFÍA

Los alumnos dispondrán de diversos medios de apoyo al estudio, entre los que se pueden destacar:

- Curso virtual. La asignatura se imparte virtualizada, de modo que los alumnos tienen la posibilidad de entrar en cualquier momento en el Curso Virtual. Se recomienda encarecidamente la consulta del Curso Virtual, pues en él se podrá encontrar información actualizada sobre aspectos relacionados con la organización académica y actividades del curso.
- En el curso virtual, el estudiante encontrará material didáctico complementario para la asignatura (consultar el apartado de Metodología para más información).
- El Curso Virtual tiene herramientas para establecer contacto con sus compañeros y con el Equipo Docente de la Sede Central. Entre esas herramientas están los *Foros de debate*, que han de servir para que dudas y comentarios acerca de los distintos temas de la asignatura se compartan entre los miembros del curso.
- La bibliotecas de los Centros Asociados, donde el estudiante puede consultar, al menos, una parte de la bibliografía complementaria.

IGUALDAD DE GÉNERO

En coherencia con el valor asumido de la igualdad de género, todas las denominaciones que en esta Guía hacen referencia a órganos de gobierno unipersonales, de representación, o miembros de la comunidad universitaria y se efectúan en género masculino, cuando no se hayan sustituido por términos genéricos, se entenderán hechas indistintamente en género femenino o masculino, según el sexo del titular que los desempeñe.