

19-20

GRADO EN FÍSICA
CUARTO CURSO

GUÍA DE ESTUDIO PÚBLICA



MECÁNICA CUÁNTICA

CÓDIGO 61044075

UNED

19-20

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 | 2019/2020 |
| Departamento | FÍSICA FUNDAMENTAL |
| Título en que se imparte | GRADO EN FÍSICA |
| Curso | CUARTO CURSO |
| Tipo | OPTATIVAS |
| Nº ETCS | 5 |
| Horas | 125.0 |
| Periodo | SEMESTRE 1 |
| 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 estudiadas las asignaturas Física Cuántica I y Física Cuántica II en el tercer curso del Grado, en las que se han puesto las bases del formalismo y de diversas aplicaciones, esta asignatura de **Mecánica Cuántica** tiene un enfoque doble.

Por una parte, avanza en el formalismo que no ha sido tratado en las anteriores asignaturas, y hace énfasis en aspectos más modernos de la teoría.

Por otra, presenta métodos y aproximaciones que resultan de interés en el tratamiento de problemas diversos en otras ramas de la Física.

Efectivamente, ese enfoque más formal y abstracto se refleja tanto en el repaso inicial del formalismo de los espacios de Hilbert (en los que se definen los estados y los observables), como en el análisis de los estados puros y estados mezcla. También se resalta la importancia de las simetrías en las propiedades de los operadores y en la aparición de las constantes de movimiento. Además, se presentan problemas modernos como el entrelazamiento, no localidad, medida, etc. y se incluyen temas relativos a la comunicación y la computación cuántica.

En la parte más aplicada, se presentan breves introducciones a la teoría de las colisiones, la óptica cuántica y la Mecánica cuántica relativista.

El objetivo es, pues, que el estudiante madure en la comprensión de la teoría cuántica, y de su estructura lógica y matemática. Además, se intenta que tenga conocimiento de métodos y aproximaciones que también pueden aplicarse para tratar otros problemas en muchas ramas de la Física.

La asignatura contribuirá a la adquisición de algunas competencias básicas, como ser capaz de realizar un aprendizaje autónomo, de gestionar eficazmente su tiempo y 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 con éxito, el estudiante debe tener bien asentados los conocimientos que se adquieren en las dos asignaturas previas de Física Cuántica, que se imparten en el tercer curso del Grado.

También tiene que estar perfectamente familiarizado con los contenidos de Álgebra Lineal y de Análisis Matemático, con la resolución de ecuaciones diferenciales ordinarias y con los fundamentos de la teoría de funciones de variable compleja. Además, debe conocer 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, y que se han utilizado extensamente en Física Cuántica I y II).

EQUIPO DOCENTE

Nombre y Apellidos
Correo Electrónico
Teléfono
Facultad
Departamento

JAVIER RODRIGUEZ LAGUNA
jrlaguna@fisfun.uned.es
91398-7143
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICA FUNDAMENTAL

Nombre y Apellidos
Correo Electrónico
Teléfono
Facultad
Departamento

JOSE ENRIQUE ALVARELLOS BERMEJO
jealvar@fisfun.uned.es
91398-7120
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICA FUNDAMENTAL

Nombre y Apellidos
Correo Electrónico
Teléfono
Facultad
Departamento

EVA MARIA FERNANDEZ SANCHEZ
emfernandez@fisfun.uned.es
91398-8863
FACULTAD DE CIENCIAS
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 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

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 inglés científico en el ámbito de estudio
- 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 representar esos estados como funciones de onda y cómo su evolución temporal viene determinada por la ecuación de Schrödinger. Entender el concepto de medida cuántica y el comportamiento de un sistema cuántico sometido a una medida. Conocer las imágenes de Schrödinger, Heisenberg y Dirac.

- Entender la relación entre las simetrías de un sistema y los observables físicos.
- Conocer la aproximación semiclásica, el método WKB y la correspondencia con la física clásica.

- Saber diferenciar entre estados puros y estados mezcla, y conocer el concepto de matriz

densidad.

- 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 cuántica (no clonación, transmisión por pares entrelazados, codificación densa y teleportación cuántica).
- Manejar los conceptos fundamentales de la computación cuántica (complejidad computacional. problemas P y NP; operaciones lógicas clásicas y puertas cuánticas. Algoritmos de Deutsch, de Grover y de Shor).
- Saber realizar un tratamiento cuántico de las colisiones (sección eficaz, aproximación de Born, análisis en ondas parciales y defasajes).
- Ser capaz de analizar la absorción y la emisión inducidas, la emisión espontánea. así como la anchura de las líneas espectrales.
- Conocer los fundamentos de la mecánica cuántica relativista (la ecuaciones de Klein-Gordon y de Dirac, teoría de huecos).

CONTENIDOS

EL FORMALISMO Y SU INTERPRETACIÓN. SIMETRÍAS

APROXIMACIÓN SEMICLÁSICA

MATRIZ DENSIDAD

ENTRELAZAMIENTO

COMUNICACIÓN CUÁNTICA

COMPUTACIÓN CUÁNTICA

TEORÍA DE COLISIONES

INTRODUCCIÓN A LA ÓPTICA CUÁNTICA

MECÁNICA CUÁNTICA RELATIVISTA

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, donde los alumnos pueden plantear sus dudas y consultas al Equipo Docente.

- material básico de la asignatura, que incluye 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 ofrece 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.

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

En esta bibliografía incluimos unos pocos textos, bien reconocidos, que pueden servir para afianzar el aprendizaje de la asignatura y profundizar en sus contenidos.

El libro de **Luis de la Peña**, *Introducción a la Mecánica Cuántica* (Fondo de Cultura Económica, 2006) es probablemente el texto de la materia más completo en español, si bien 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 on-line de muchos más problemas desde la propia editorial.

El texto de 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 incluidos en los contenidos de la asignatura.

Parte importante del Tema 1 se trata con mayor detalle (matemático) 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, ISBN-10: 8420626619, ISBN-13: 978-84-206-2661-1). El libro está escrito por uno de los científicos que ha realizado aportaciones más importantes acerca de algunas de las propiedades más intrincadas de la mecánica cuántica.

Nota: 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).

Otro texto muy completo en castellano es el coordinado por Carlos **Sánchez del Río** (coordinador) *Física Cuántica* (Editorial Pirámide, 5 a edición, 2015, ISBN 978-84-368-3304-1), recomendado para las asignaturas Física Cuántica I y II del tercer curso de grado. La última edición citada incluye dos apéndices dedicados a la información cuántica y al entrelazamiento en los sistemas cuánticos.

Para la parte del temario relacionada con la comunicación y computación cuánticas resulta de interés 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 divulgativo de la parte más formal del temario, se puede consultar el libro A. D. **Aczel**, *Entrelazamiento*, (editorial Crítica, 2004). Hay varias ediciones, en tapa dura y en rústica.

También nos parece muy interesante, y puede ser de utilidad dentro de ese acercamiento divulgativo, el libro *La realidad cuántica* de **A. Cassinello y J. L. Sánchez Gómez** (editorial Crítica, colección Drakontos, 2013, ISBN-10: 8498925983, ISBN-13: 978-8498925982).

RECURSOS DE APOYO Y WEBGRAFÍA

Los alumnos dispondrán de diversos medios de apoyo al estudio, que se ofrecen a través del Curso virtual de la asignatura.

- El estudiante tiene a su disposición el material didáctico básico de la asignatura (consulte el apartado de Bibliografía básica para más información).

- La asignatura se imparte virtualizada (vea el apartado de Metodología para más información sobre el Curso virtual). Se recomienda encarecidamente el uso del Curso Virtual, pues en él se podrá encontrar información actualizada sobre aspectos relacionados con la organización académica y las actividades del curso.

- 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 sirven para que las dudas y los comentarios acerca de los distintos temas de la asignatura se compartan entre los miembros del curso.

Además, el estudiante puede consultar en las bibliotecas de los Centros Asociados 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.