

Plan 469 GRADO EN FISICA  
 Asignatura 45771 MECÁNICA CUÁNTICA  
 Grupo 1

Tipo de asignatura (básica, obligatoria u optativa)

obligatoria

Créditos ECTS

6

Competencias que contribuye a desarrollar

2.1

Generales

- T1: Capacidad de análisis y de síntesis.
- T2: Capacidad de organización y planificación.
- T3: Capacidad de comunicación oral y escrita.
- T4: Capacidad de resolución de problemas.
- T5: Capacidad de trabajar en equipo.
- T7: Capacidad de trabajo y aprendizaje autónomo.
- T8: Capacidad de adaptación a nuevas situaciones.
- T9: Creatividad.

2.2

Específicas

- E1: Adquirir una comprensión de la naturaleza de la investigación, de las formas en que se lleva a cabo y de cómo la investigación en Física es aplicable a muchos campos diferentes.
- E2: Ser capaz de presentar un tema académico o una investigación propia tanto a profesionales como a público en general.
- E3: Ser capaz de comparar nuevos datos experimentales con modelos disponibles para revisar su validez y sugerir cambios con el objeto de mejorar la concordancia de los modelos con los datos.
- E4: Ser capaz de iniciarse en nuevos campos a través de estudios independientes.
- E5: Ser capaz de evaluar claramente los ordenes de magnitud, de desarrollar una clara percepción de las situaciones que son físicamente diferentes, pero que muestran analogías y, por lo tanto, permiten el uso de soluciones conocidas a nuevos problemas.
- E6: Ser capaz de realizar las aproximaciones requeridas con el objeto de reducir un problema hasta un nivel manejable.
- E8: Ser capaz de buscar y utilizar bibliografía en Física, así como cualquier fuente de información relevante para trabajos de investigación y desarrollo técnico de proyectos.
- E9: Estar adecuadamente preparado para ejercitar una labor docente.
- E10: Ser capaz de mantenerse informado de los nuevos desarrollos.
- E11: Adquirir familiaridad con las fronteras de la investigación.
- E12: Tener una buena comprensión de las teorías físicas más importantes, de su estructura lógica y matemática y su soporte experimental.
- E13: Ser capaz de integrar los conocimientos recibidos de las diferentes áreas de la Física para la resolución de un problema.
- E14: Familiarizarse con los modelos experimentales más importantes, y ser capaz de realizar experimentos independientemente, así como describir, analizar y evaluar críticamente los datos.
- E15: Comprender y dominar el uso de los métodos matemáticos y numéricos más comúnmente utilizados.

## Objetivos/Resultados de aprendizaje

Tras un seguimiento serio y satisfactorio de la asignatura, el alumno debe haber asimilado el significado de los postulados cuánticos y debe saber aplicarlos a diversos problemas concretos con los que se enfrentará en asignaturas futuras (Física Atómica, Nuclear y de Partículas, y del Estado Sólido), entre los que se encuentra el oscilador armónico. Asimismo, debe dominar y saber aplicar la teoría del momento angular. También debe dominar las expresiones matemáticas y forma de proceder típicos de los métodos perturbativos. También debe haber asimilado las profundas implicaciones que la Mecánica Cuántica impone sobre un sistema de partículas idénticas. Finalmente, debe haber asimilado la importancia de los fenómenos de dispersión/colisión, así como saber calcular la sección eficaz, utilizando el método de ondas parciales o la aproximación de Born, en diversos casos sencillos. A nivel más general, debe dominar y manejar las unidades y los órdenes de magnitud y conocer los límites de validez de cada una de las expresiones y aproximaciones estudiadas durante el curso.

Aparte de los resultados del aprendizaje que hemos resumido, y que están reflejados en los contenidos de la asignatura, ésta debe servir también para que el alumno desarrolle competencias transversales y específicas.

## Contenidos

El programa está estructurado en siete temas: formalismo matemático, postulados, oscilador armónico, momento cinético, fenómenos de dispersión/colisión, métodos aproximados, partículas idénticas.

### Tema 1. Formalismo Matemático de la Mecánica Cuántica

- Espacio vectorial de funciones de onda. Bases discretas. Ondas planas y deltas de Dirac. Espacio de estados y notación de Dirac: kets, bras y operadores lineales.

- Conjugación hermítica. Representación de kets, bras y operadores en una base del espacio de estados.

Ecuaciones de autovalores y observables.

- Teoremas relativos a observables que conmutan. Conjunto completo de observables que conmutan.

- Representación de coordenadas y de momentos. Observables posición y momento.

- Producto tensorial de espacios de estados. Técnica de separación de variables.

- Traza de un operador. Álgebra de conmutadores. Funciones de un operador lineal. Diferenciación de operadores.

Operadores unitarios.

- Operador paridad. Descomposición espectral de operadores. Matrices de Pauli.

### Tema 2. Los postulados de la Mecánica Cuántica

- Postulados fundamentales y principio de descomposición espectral. Reducción del paquete de ondas en caso de espectros continuos. Reglas de cuantificación.

- Valor medio y desviación cuadrática media. Medida de observables compatibles e incompatibles.

- Análisis de la ecuación de Schrödinger: determinismo, principio de superposición, conservación de la probabilidad y ecuación de continuidad.

- Evolución temporal de valores medios: teorema de Ehrenfest y límite clásico. Sistemas conservativos: estados estacionarios, constantes del movimiento, frecuencias de Bohr y reglas de selección. Relación de incertidumbre energía-tiempo.

- Operador de evolución. Operador densidad. Medidas sobre un subsistema. Trazas parciales. Correlaciones.

- Representaciones de Schrödinger y de Heisenberg.

- Sistema de dos niveles. Ruptura de degeneración por un acoplo y fórmula de Rabi.

### Tema 3. El oscilador armónico

- Introducción. Aproximación armónica. Hamiltoniano cuántico del oscilador. Propiedades generales.

- Operadores creación, aniquilación y número. Propiedades y expresión del hamiltoniano en términos de estos operadores.

- Espectro del hamiltoniano. Interpretación de los operadores creación y aniquilación.

- Estados propios del hamiltoniano. Elementos de matriz de los operadores creación, aniquilación, posición y momento. Funciones de onda de los estados estacionarios.

- Valores medios y desviaciones cuadráticas medias de posición, momento, energía cinética y potencial. Evolución temporal de valores medios.

- Oscilador tridimensional isótropo. Oscilador cargado en un campo eléctrico uniforme.

### Tema 4. El momento cinético en Mecánica Cuántica

- Recuerdo breve de las propiedades básicas del operador momento angular: relaciones de conmutación.

Operadores escalera  $J_+$  y  $J_-$ . Autovalores y autovectores de  $J^2$  y  $J_z$ .

- Base estándar. Momento angular orbital. Problemas sobre el momento angular.

- Postulados de Pauli en Mecánica Cuántica no relativista y espín del electrón. Espacio de estados de una partícula con espín. Espinores. Problemas de ejemplo. Partículas en campos magnéticos.

- Relación entre el momento angular y el grupo de rotaciones. Operadores de rotación para un espín  $\frac{1}{2}$ .

- Composición de momentos angulares. Caso sencillo de dos espines  $\frac{1}{2}$ . Autovalores en el caso general.

Autovectores en el caso general. Configuración  $p^2$ . Coeficientes de Clebsch-Gordan.

- Operadores vectoriales y teorema de Wigner-Eckart.

- Suma de tres momentos angulares. Suma de un momento angular orbital  $l$  y un espín  $\frac{1}{2}$ . Otros problemas.

### Tema 5. Fenómenos de Dispersión/Colisión

- Introducción general y restricción al caso de dispersión elástica. Sección eficaz de dispersión. Estados estacionarios de dispersión y amplitud de dispersión. Teorema óptico.
- Dispersión por un sistema de partículas. Formulación con paquetes de onda.
- Ecuación integral de dispersión. Funciones de Green entrante y saliente. Expresión integral de la amplitud de dispersión. Aproximación de Born.
- Método de ondas parciales para potenciales dispersores centrales (1): Estados estacionarios de una partícula libre, ondas planas versus ondas esféricas. Interpretación física de las ondas esféricas y parámetro de impacto.
- Método de ondas parciales para potenciales dispersores centrales (2): Ondas parciales en un potencial central y defasajes. Cálculo de la sección eficaz en términos de los defasajes.
- Descripción fenomenológica de procesos de dispersión con absorción.
- Aproximación de Born y potencial de Yukawa. Dispersión por una esfera impenetrable (onda s y onda p). Pozo esférico. Estados ligados y resonancias de dispersión.

#### Tema 6. Métodos aproximados

- Perturbación estacionaria de un nivel no degenerado. Efectos de primer y segundo orden.
- Perturbación estacionaria de un nivel degenerado. Ruptura de la degeneración. Algunos ejemplos.
- Perturbaciones estacionarias a un oscilador armónico bidimensional.
- El método variacional. Ejemplos.
- Teoría de perturbaciones dependientes del tiempo.
- Ejemplo de perturbación sinusoidal. Transición resonante. Validez de las aproximaciones.
- Acoplo con un continuo de estados finales. Densidad de estados y regla de oro de Fermi.
- Oscilador armónico cargado en un pulso de campo eléctrico. Evolución temporal de dos espines 1/2 acoplados.

#### Tema 7. Partículas Idénticas

- Degeneración de intercambio y planteamiento del problema. Operadores de permutación, simetrizador y antisimetrizador.
- Postulado de simetrización y eliminación de la degeneración de intercambio. Espacio de estados físico. Bosones y fermiones.
- Determinantes de Slater y principio de exclusión. Números de ocupación.
- Compatibilidad de los postulados. Sistema de partículas idénticas e independientes. Efectos de interferencia y postulado de simetrización. Casos donde el postulado no es necesario.
- Átomos multielectrónicos y aproximación de campo central. Ejemplo del átomo de Helio: repulsión electrostática y término de intercambio. Influencia del postulado de simetrización.
- Colisión entre dos partículas idénticas. Otros problemas.

## Principios Metodológicos/Métodos Docentes

Entre las actitudes generales que la metodología docente tratará de potenciar con vistas a lograr los objetivos, tanto de aprendizaje de conocimientos como de desarrollo de competencias transversales y específicas, cabe mencionar las siguientes:

1. Adquisición por el alumno de un lenguaje formalizado. Resulta imprescindible para el análisis adecuado de los problemas. Los problemas y los razonamientos lógicos se deben efectuar usando un lenguaje correcto y preciso.
2. Aprendizaje del razonamiento lógico-deductivo. Es fundamental para lograr una buena formación del futuro físico y para que éste pueda desenvolverse adecuadamente después en su trabajo.
3. Utilización de manera adecuada del rigor y de la intuición. Este punto de vista ayuda tanto a que los programas se abarquen en su totalidad como a mostrar al alumno lo conveniente que es saber mezclar el rigor matemático con la intuición que, como físico, debe tener.
4. Potenciación de su capacidad de trabajo y de aprendizaje. Es muy importante transmitir al estudiante ciertos hábitos de trabajo que le serán muy útiles en el futuro: acostumbrarse a profundizar en los contenidos que se exponen en clase, hacer problemas por su cuenta.
5. Fomento de la habilidad de cálculo.
6. Fomento del espíritu crítico.
7. Creación de un buen ambiente en las clases. Se trata de que el ambiente no sea tenso y el alumno se sienta con la libertad de plantear sus dudas en clase.
8. Comunicación fluida entre profesor y alumno.
9. Trabajo en equipo. Es importante motivar a los alumnos para que efectúen algunas actividades en grupo, con otros compañeros, y no estudien siempre de forma individual.
10. Ampliar horizontes. Proponer a los estudiantes, por ejemplo, la asistencia a los seminarios generales que se organizan en la Facultad, o a algunos del Departamento, para que descubran aspectos nuevos e interesantes de alguna rama de la Ciencia, y en particular, aplicaciones de la Mecánica Cuántica en diversos campos de investigación.

### ACTIVIDADES ACADÉMICAS Y DE ORGANIZACIÓN

La enseñanza se llevará a cabo por medio de una serie de actividades académicas, a saber: clases teóricas, clases de problemas, resolución y presentación de problemas por los alumnos, seminarios, horas de consulta, y evaluación de los conocimientos. Aunque se fija un número de horas semanales para tutorías, los profesores estarán disponibles, en la medida de lo posible, también fuera de ese horario.

Clases de teoría

Las clases de teoría se dedican a la exposición por parte del profesor de los temas del programa, y constituyen por lo tanto la “espinas dorsal” de la asignatura.

#### Clases de problemas

Los problemas propuestos al alumno serán aplicaciones, ilustraciones y complementos del contenido de las clases teóricas, lo que permitirá descargar éstas de ciertos desarrollos matemáticos y otras cuestiones complementarias. Su principal objetivo es el de consolidar los conocimientos adquiridos en las clases de teoría.

Se facilitará a los alumnos una lista de problemas para cada tema con la suficiente antelación para intentar la solución por sí mismo y poder participar de un modo más provechoso en las discusiones. En clase el profesor realizará la mayor parte de los problemas, pero también se dará oportunidad a los alumnos para salir a la pizarra a resolver algunos.

Los problemas propuestos serán de tres tipos. En primer lugar están los que podemos denominar como “aplicaciones directas” de las expresiones teóricas. Son problemas con los que se pretende que el alumno afiance el conocimiento y adquiera habilidad y confianza en el manejo de las expresiones pertinentes. En segundo lugar, se proponen como problemas ciertas deducciones simples de resultados empleados o mencionados en las clases de teoría que se consideren demasiado específicas para tratarlas en detalle en las clases teóricas. Finalmente están los problemas que plantean aplicaciones de la teoría a sistemas/casos más cercanos a la realidad o que desarrollan conceptos importantes para otras asignaturas. No habrá días específicos para hacer problemas, sino que se plantearán en el momento más pertinente para que sirvan de apoyo a las clases de teoría.

#### Realización y exposición de problemas

Cada grupo de 2 alumnos resolverá un problema planteado y lo presentará en la clase, respondiendo a las preguntas planteadas por el resto de los compañeros y por el profesor. Se propondrá a cada grupo la resolución de un problema que les permita profundizar en algún tema concreto y les sirva de complemento a las clases de teoría y problemas. El trabajo lo realizarán en grupo. Los alumnos del grupo impartirán un pequeño seminario para exponer la resolución del problema y compartir su conocimiento con el resto de la clase y se abrirá un debate con la clase en el que responderán a las dudas planteadas. Antes de la exposición los alumnos pasarán por tutoría para resolver cualquier duda referente al problema y a la exposición con vistas a su preparación.

#### Seminarios

La organización de seminarios monográficos puede ser un complemento útil en determinadas ocasiones. En principio es interesante escogerlos en conexión con los temas de investigación relacionados con la asignatura. Muchos de los temas de investigación que se llevan a cabo en el área de Física Atómica, Molecular y Nuclear del Departamento de Física Teórica, Atómica y Óptica de la UVA están relacionados con la Mecánica Cuántica. Los mismos profesores presentarán en un seminario en clase alguno de sus trabajos de investigación, si hay tiempo. Es conveniente también animar a los estudiantes a asistir a una parte del ciclo de seminarios organizado por el Departamento, impartidos por miembros de éste o por visitantes de otras Universidades o Centros de Investigación nacionales o extranjeros. En cualquier caso, se elegirán temas de interés actual. Esta actividad complementaria es importante también con vistas a desarrollar las competencias específicas E1, E10, E11.

## Criterios y sistemas de evaluación

- Convocatoria ordinaria:

Combinación de evaluación continua con resolución y exposición de problemas (10% nota final), exámenes parciales (20%), y examen final de problemas y cuestiones (70%).

El procedimiento de evaluación detallado será accesible a través del curso virtual de la asignatura.

- convocatoria extraordinaria:

examen final de problemas y cuestiones (100%).

## Recursos de aprendizaje y apoyo tutorial

Las actividades de tutoría son muy beneficiosas para el alumno si son bien aprovechadas. El profesor estará disponible para realizar esta actividad, incluso fuera de las horas establecidas, en la medida de lo posible.

Con objeto de potenciar esta actividad, hemos implementado en el Campus Virtual de la UVA un curso virtual de Mecánica Cuántica. Este curso virtual contiene enlaces a diversa información relevante para la asignatura y constituye un buen recurso de aprendizaje, ya que permite al alumno estar en contacto fuera de las horas lectivas.

[LA MECÁNICA CUÁNTICA EN EL CAMPUS VIRTUAL DE LA UVA](#)

[ESTRUCTURA DE LA ASIGNATURA VIRTUAL](#)

La asignatura virtual de Mecánica Cuántica que hemos implementado en el Campus Virtual de la UVA dentro de la plataforma MOODLE, está estructurada en un apartado general y los distintos temas de la asignatura presencial, a excepción del Tema 1 sobre el formalismo matemático de la Mecánica Cuántica.

En el [apartado general](#), hemos creado etiquetas de información general, objetivos, enlaces de interés, glosario de Mecánica Cuántica, consultas y resultados de exámenes. El alumno puede navegar y acceder a los diferentes recursos que he agregado y ordenado según estas etiquetas. Estos recursos son:

- Foro de novedades a través del cual mantenemos informados a los alumnos de aspectos generales como temas disponibles, fechas de exámenes parciales, calificaciones, actividades previstas como seminarios, etc.
- Enlace a un archivo de objetivos y otro de bibliografía.

- Enlace a páginas web interesantes de Física (Hyperphysics, Falstad, Physics 2000).
- Enlace a páginas web con herramientas útiles que los alumnos pueden consultar en cualquier momento de forma cómoda (unidades en Física, tabla periódica, expresiones matemáticas, armónicos esféricos, libro de Abramowitz & Stegun de fórmulas y tablas matemáticas, ...).
- Enlace a archivos con las calificaciones de los exámenes parciales o diversas actividades previstas y evaluables a lo largo del curso.

En cada uno de los temas hemos creado etiquetas de contenidos, material, actividades, y dudas y debate. El alumno puede navegar y acceder a los diferentes recursos que he agregado y ordenado según estas etiquetas. Estos recursos son:

- Enlace a un archivo con los contenidos esenciales del tema.
- Enlace a un archivo con indicación del material de estudio.
- Enlace a un fichero pdf con ejercicios del tema para que pueda resolverlos de forma autónoma. Alguno de ellos u otros distintos se pueden proponer aparte como actividad evaluable.
- Enlaces a archivos con material de interés para leer o para realizar algún trabajo. Por ejemplo tenemos enlace a las charlas de los Premios Nobel Albert Fert y Peter Grünberg sobre el fenómeno de la magnetorresistencia gigante dentro del tema del momento cinético así como enlaces a artículos y presentaciones de algunos trabajos de investigación que tienen que ver con la Mecánica Cuántica.
- Enlaces a actividades, que pueden ser voluntarias u obligatorias y evaluables y también de diferente tipo dependiendo del tema que se esté impartiendo.
- Foro de debate. En cada tema hay un foro de discusión en el que se pueden debatir no sólo cuestiones formales y dudas sobre los conocimientos que se están aprendiendo en ese tema, sino sobre aspectos menos formales, a veces incluso filosóficos, cuyo debate no tiene cabida en el horario presencial, pero que a veces sirven para tener más claros los conceptos y nuestro punto de vista sobre algunos aspectos del nuevo marco teórico que constituye la Mecánica Cuántica. En este foro pueden participar todos los alumnos, incluso abriendo ellos mismos nuevos hilos de discusión y haciendo propuestas. Este recurso es uno de los más importantes y útiles a nuestro juicio, ya que permite complementar el escaso número de horas que está previsto para tutorías y consultas en la docencia presencial.

## Calendario y horario

El asignado por la facultad

## Tabla de Dedicación del Estudiante a la Asignatura/Plan de Trabajo

ACTIVIDADES PRESENCIALES

HORAS

ACTIVIDADES NO PRESENCIALES

HORAS

Clases de teoría y problemas y presentaciones de los alumnos

60

Estudio individualizado del alumno

90

Total presencial

60

---

Total no presencial

90

---

Responsable de la docencia (recomendable que se incluya información de contacto y breve CV en el que aparezcan sus líneas de investigación y alguna publicación relevante)

María José López Santodomingo    maria.lopez@fta.uva.es

Andrés Aguado Rodríguez        aguado@metodos.fam.cie.uva.es

---

Idioma en que se imparte

Español e inglés

---