

GUÍA DOCENTE

MECÁNICA CUÁNTICA

Grado de Física

Cuarto Curso

I.- DATOS INICIALES DE IDENTIFICACIÓN

Nombre de la asignatura:	Mecánica Cuántica
Nombre de la materia:	Ampliación de Física
Carácter:	Obligatoria
Titulación:	GRADUADO/A EN FÍSICA
Profesor:	Armando Pérez

II.- INTRODUCCIÓN A LA ASIGNATURA

Créditos ECTS asignados: 45

Duración temporal: Primer Cuatrimestre

Ubicación en la titulación: 4º curso

Objetivos:

Esta asignatura se plantea como continuación de la asignatura de Física Cuántica de 3º. Por un lado, se introduce el formalismo del espacio de estados de un sistema y la relación de estados de dicho sistema con vectores, y de observables con operadores. Se definen y discuten los postulados de la Mecánica Cuántica. En segundo lugar, se abordan problemas de gran importancia, no tratados en el curso previo, como el de interacciones dependientes del tiempo. Dedicaremos el último capítulo a introducir algunos temas de actualidad en Mecánica Cuántica.

Relación con asignaturas anteriores:

Ya se ha discutido la relación natural de ésta con la asignatura de Física Cuántica. Otra relación a tener en cuenta es con la asignatura de Mecánica, por cuanto se discute las diferencias que tiene el tratamiento de las variables cuánticas con su contrapartida clásica, haciendo énfasis en el enfoque probabilístico de los observables cuánticos. También existen puntos en común, como la formulación en términos de un Hamiltoniano. Son de gran importancia los conocimientos adquiridos en Métodos Matemáticos I en cuanto a espacios vectoriales, álgebra de matrices y diagonalización.

Relación con asignaturas posteriores:

Son muchas las materias de Física que utilizan los conocimientos de la Mecánica Cuántica, como el Estado Sólido, la Mecánica Cuántica Avanzada, Óptica Cuántica, Física Nuclear y de Partículas o la Teoría Cuántica de Campos.

III.- VOLUMEN DE TRABAJO

TIPO DE ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	HORAS
Asistencia a clases teóricas	Magistrales teórico-prácticas: 2 horas/semana x 15 semanas	30 h
Asistencia a clases de prácticas	Clases de problemas participativas 0,5 horas/semana x 15 semanas	7.5 h
Sesiones de tutorías grupales o trabajos tutelados	Clases prácticas en grupos reducidos para que el estudiante haga problemas, ejercicios, los exponga, los discuta, etc. 0.5 horas/semana x 15 semanas	7.5 h
Preparación de trabajos Horas de trabajo del estudiante sometidas a evaluación	Resolución de tareas y ejercicios propuestos para hacer en casa 1.3 h/sesión tutelada x 1 h/sem. X 7.5 semanas	10 h
Estudio-preparación contenidos teórico-prácticos	Teoría: 1.2 x 2 h/sem x 15 semanas = 36 h Problemas: 1.2 x 1 h/sem x 7.5 semanas = 9 h	45 h
Estudio para preparación de exámenes	8 h/examen x 1 examen	8 h
Realización de exámenes	3 h/examen x 1 examen	3 h
Actividades complementarias	Conferencia del ciclo de la Facultad de Física, asistencia y resumen argumentado	1.5 h
TOTAL VOLUMEN DE TRABAJO		112.5 h

IV.- OBJETIVOS GENERALES

La Mecánica Cuántica es parte fundamental en la descripción de los fenómenos físicos. Son muchas las disciplinas en física que utilizan los conceptos cuánticos como base: Estado Sólido, Teoría de Partículas Elementales, Física Nuclear, Óptica Cuántica, Teoría Cuántica de Campos ... Las aplicaciones tecnológicas son también innumerables. Además de ello, en la actualidad se está llevando a cabo una importante labor, tanto experimental como teórica, que afecta a la revisión de una disciplina que creíamos ya muy explotada. Por una parte, se realizan experimentos en los cuales se manipulan átomos, fotones, condensados de Bose-Einstein o flujos en circuitos superconductores (por citar algunos ejemplos) con una precisión insospechada hace solamente unos años. También leemos acerca de avances en campos como la computación cuántica, la tele-portación o la criptografía cuántica (ya en fase comercial). Al mismo tiempo, adquirimos un conocimiento más profundo de la realidad cuántica, de sus limitaciones y de su relación con los fenómenos clásicos que observamos.

Se trata, pues, de una disciplina con una sólida base y en constante desarrollo. El objetivo principal de esta asignatura es enseñar los conceptos y herramientas necesarias para poder abordar los temas descritos anteriormente, mediante el lenguaje y las herramientas de la Mecánica Cuántica moderna. Se introduce el concepto de espacio de estados y cómo vienen representados los observables en dicho espacio. Se desarrolla el formalismo de *bras* y *kets* como herramienta fundamental. Se discuten los postulados de la Mecánica Cuántica, en particular los aspectos relacionados con la medida. Se trata la diferencia entre estados puros y mezcla. Se estudian también sistemas de partículas idénticas dentro del formalismo antes definido.

Entre los temas no tratados en cursos anteriores, se encuentra uno de gran relevancia por sus aplicaciones: la interacción con un potencial externo que depende del tiempo. Un ejemplo típico es la resonancia nuclear magnética, o la interacción de un átomo con un campo electromagnético variable.

El último tema trata de introducir, brevemente, algunos de los temas frontera de la Mecánica Cuántica, como son la computación cuántica, la tele-portación o la criptografía cuántica. Se trata de dar al alumno una visión más actual que, de todas formas, aparece constantemente en los medios de comunicación y todo físico debe conocer, aunque sea a un nivel muy fundamental.

V.- CONTENIDOS MÍNIMOS

- Descripción de los posibles estados de un sistema cuántico (temas 1, 3, 4 y 5).
- Observables y medidas en Mecánica Cuántica (temas 2, 3 y 5).
- Evolución de un sistema cuántico (temas 4 y 5).
- Conjuntos puros y mezcla (tema 3).
- Sistemas cuánticos sometidos a interacción (temas 5 y 6).
- Concepto de indistinguibilidad y sus consecuencias físicas (tema 6).
- Temas actuales de Mecánica Cuántica (tema 7).

VI.- DESTREZAS QUE SE DEBEN ADQUIRIR

- Conocer y comprender los límites de la Física Clásica y los aspectos experimental y teórico de la Mecánica Cuántica.
- Conocer y comprender los experimentos de conducen a la introducción del espín.
- Saber calcular los valores y vectores propios del operador de espín en una dirección arbitraria, y las probabilidades relativas de los resultados de experimentos con dos Stern-Gerlach.
- Entender los conceptos fundamentales en la descripción de los fenómenos cuánticos: la cuantificación de la energía, la dualidad onda-corpúsculo, las reglas de cuantificación, la medida de observables cuánticos, y las relaciones de incertidumbre.
- Conocer cómo calcular los valores posibles de la medida de un observable cuántico, así como las probabilidades relativas de los diferentes resultados y su valor medio.
- Determinar la evolución temporal de un sistema a partir de los estados propios del Hamiltoniano. Saber construir el operador de evolución temporal.
- Entender las diferencias entre conjuntos puro y mezcla. Adquirir el concepto de operador densidad y saber calcular promedios y probabilidades a partir de él.
- Entender el concepto de indistinguibilidad y su implicación en el comportamiento de partículas cuánticas idénticas.
- Saber resolver problemas en los que un sistema cuántico es sometido a una interacción externa que varía con el tiempo.
- Conocer aquellos temas actuales en los que se están dando avances de importancia, dentro del dominio de la Mecánica Cuántica: criptografía cuántica, tele-portación, información cuántica, etc ...

VII.- HABILIDADES SOCIALES O TRANSVERSALES

- Desarrollar la capacidad de razonamiento crítico y la aplicación del método científico.
- Ser capaz de identificar problemas, incluyendo las semejanzas con otros cuya solución es conocida, e idear estrategias para su solución.
- Desarrollar la capacidad de planificar y organizar el propio aprendizaje, basándose en el trabajo individual, a partir de la bibliografía y otras fuentes de información.
- Evaluar las diferentes causas de un fenómeno y su importancia relativa.
- Identificar los elementos esenciales de una situación compleja, realizar las aproximaciones necesarias para construir modelos simplificados que lo describan y poder así entender su comportamiento en otras situaciones.
- Ser capaz de efectuar una puesta al día de la información existente sobre un problema concreto, ordenarla y analizarla críticamente.
- Fomentar la capacidad para trabajar en equipo a la hora de abordar problemas complejos que requieren colaboración con otras personas.
- Potenciar la adquisición de recursos de expresión oral y escrita para llevar a cabo una argumentación científica clara y coherente.
- Estimular la capacidad de comunicación de los conceptos físicos involucrados en un problema mediante expresión oral y escrita.
- Potenciar la comprensión y el uso de las nuevas tecnologías de la información.

VIII.- TEMARIO Y PLANIFICACIÓN TEMPORAL

La planificación que se muestra a continuación es lógicamente orientativa ya que, dependiendo del ritmo de adquisición de competencias de los alumnos y del grado de madurez de sus conocimientos previos, puede resultar conveniente (o necesario) reajustar el cronograma siguiente.

	TEMA	Num. semanas
1	Conceptos fundamentales. El experimento de Stern-Gerlach. Espacio de estados de un sistema. Spin 1/2. Operadores y observables. Representación matricial.	3
2	Observables y medidas. Observables y valores esperados. Funciones de un operador. Medidas. Observables compatibles. Relaciones de incertidumbre. Espectro continuo.	3
3	Operador densidad. Conjuntos puros y mezcla. Operador densidad. Vector de polarización. Medidas no filtrantes.	2
4	Partículas idénticas. Sistema de dos spines 1/2. Producto tensorial. Suma de momentos angulares. Simetrías de intercambio. Postulado de simetrización. El sistema de dos electrones.	1
5	Evolución de sistemas y observables. Evolución de estados y observables. Evolución de funciones de onda. Imágenes de evolución. Sistemas de spin 1/2.	2
6	Potenciales dependientes del tiempo. Potenciales dependientes del tiempo: la imagen de interacción. Teoría de perturbaciones dependientes del tiempo. Aplicaciones.	2
7	Fronteras de la Mecánica Cuántica. Estados entrelazados. Teorema de no clonación. Tele-portación. Desigualdades de Bell. Borrado cuántico. Criptografía cuántica.	2

IX.- BIBLIOGRAFIA DE REFERENCIA

1) Básica

Modern Quantum Mechanics. J.J. Sakurai. Addison-Wesley.

Introduction to Quantum Mechanics. D. J. Griffiths. Benjamin Cummings.

2) Complementaria

Quantum Mechanics, an Introduction. W. Greiner. Springer-Verlag.

Mecánica Cuántica, F.J. Ynduráin. Ed. Alianza Universidad Textos.

Introductory Applied Quantum and Statistical Mechanics. P. Hagelstein, S. D. Senturia y T. P. Orlando. John Wiley and Sons.

Principles of Quantum Mechanics. R. Shankar. Plenum Press.

Modern Physics for Engineers. J. Singh. John Wiley & Sons.

Mecánica Cuántica. Alberto Galindo y Pedro Pascual. Alhambra.

Quantum Computation and Quantum Information. M.A. Nielsen y I.L. Chuang. Cambridge University Press.

3) Problemas

Schaum's Outline of Quantum Mechanics. Yoav Peleg y otros. McGraw-Hill.

Problems in Quantum Mechanics: With Solutions. G. L. Squires.

Problems and Solutions on Quantum Mechanics. Chung-Kuo y otros.

X.- CONOCIMIENTOS PREVIOS

Los conocimientos previos necesarios para el desarrollo de la asignatura los desglosaremos en dos grupos:

- **Conocimientos matemáticos:**

1. Espacios vectoriales.
2. Productos internos: espacios vectoriales euclídeos.
3. Operadores lineales: hermíticos y unitarios.
4. Matrices y determinantes.
5. Diagonalización de operadores lineales y matrices.
6. Transformadas de Fourier.
7. Delta de Dirac.
8. Solución de ecuaciones diferenciales lineales con coeficientes constantes.
9. Nociones de probabilidad y estadística.

- **Conocimientos físicos:**

1. Mecánica Hamiltoniana: construcción del Hamiltoniano y ecuaciones de Hamilton.
2. Movimiento oscilatorio: el oscilador armónico clásico.
3. Movimiento ondulatorio: ecuación de ondas, difracción e interferencia.
4. Campos eléctricos y magnéticos: radiación electromagnética.
5. Partícula cargada clásica en un campo electromagnético.
6. Función de onda y cálculo de probabilidades cuánticas asociadas. Valores esperados.
7. Conceptos elementales sobre el spin.
8. Ecuación de Schrödinger.
9. Teoría de perturbaciones estacionarias.

XI.- METODOLOGÍA

Son dos los tipos de actividades de la asignatura de Mecánica Cuántica que detallaremos a continuación:

- **Clases teóricas de pizarra:**

Serán tres las clases semanales durante el período lectivo y se distribuirán en dos clases teóricas y una práctica.

Las clases teóricas serán, en general, de carácter magistral y en ellas se expondrán los contenidos de la asignatura expuestos más arriba. Se hará especial hincapié en la aplicación de los conocimientos teóricos a la solución de cuestiones y problemas. Se resolverán sistemas físicos sencillos como ejemplo de los métodos teóricos generales estudiados y se compararán los resultados con los datos experimentales.

- **Clases prácticas de pizarra:**

En la clase práctica semanal se resolverán problemas de cada tema de la asignatura. El profesor entregará a los alumnos previamente una colección de problemas de cada capítulo. Estos problemas se asignarán de forma individual y voluntaria a los estudiantes, y serán desarrollados por ellos/ellas durante la clase práctica.

XII.- EVALUACIÓN DEL APRENDIZAJE

1. Exámenes escritos: una parte evaluará la comprensión de los aspectos teórico-conceptuales y el formalismo de la materia, tanto mediante preguntas teóricas como a través de cuestiones conceptuales y numéricas o casos particulares sencillos. Otra parte valorará la capacidad de aplicación del formalismo, mediante la resolución de problemas, así como la capacidad crítica respecto a los resultados obtenidos. En ambas partes se valorarán una correcta argumentación y una adecuada justificación.
2. Evaluación continua: valoración de trabajos y problemas presentados por los estudiantes, cuestiones propuestas y discutidas en el aula, presentación oral de problemas resueltos o cualquier otro método que suponga una interacción entre docentes y estudiantes.