GUÍA DOCENTE

TEORÍA CUÁNTICA DE CAMPOS

Grado de Física

Cuarto Curso

I.- DATOS INICIALES DE DENTIFICACIÓN

Nombre de la asignatura:	Teoría Cuántica de Campos
Nombre de la materia:	Complementos de Física
Carácter:	Optativa
Titulación:	GRADUADO/A EN FÍSICA
Profesor:	Antonio Pich

II.- INTRODUCCIÓN A LA ASIGNATURA

Créditos ECTS asignados: 6
Duración temporal: Cuatrimestral
Ubicación en la titulación: 4º curso

Descriptor: Teoría Cuántica de Campos

Objetivos:

La Teoría Cuántica de Campos unifica en un mismo marco conceptual los principios de la mecánica cuántica y la relatividad especial. Es el formalismo adecuado para describir la física microscópica (distancias pequeñas, altas energías) y, por lo tanto, para abordar el estudio de la materia a su nivel más básico. Esta asignatura ofrece una introducción elemental a la Teoría Cuántica de Campos y su aplicación en la Física de las Partículas Elementales, ofreciendo una visión global de la Teoría Estándar de las Interacciones Fundamentales y de sus éxitos fenomenológicos. Se discuten los problemas conceptuales que aparecen al combinar física cuántica y relatividad, y la necesidad de un formalismo de muchas partículas. Se desarrolla el formalismo básico de la Teoría de Campos, enfatizando el papel de las simetrías, y se presentan algunas aplicaciones simples en Electrodinámica, Cromodinámica y Teoría Electrodébil. Se pretende que el estudiante se familiarice con las interacciones fundamentales entre los constituyentes de la materia y que llegue a calcular procesos elementales al orden más bajo en teoría de perturbaciones.

Relación con asignaturas anteriores:

La Teoría Cuántica de Campos es una continuación natural de las asignaturas de Física Cuántica (3º) y Mecánica Cuántica (4º), en un contexto relativista. Es necesario que los estudiantes estén familiarizados con los fundamentos de la relatividad especial que han visto previamente en la asignatura de Mecánica y Ondas (2º). Los conceptos adquiridos en Electrodinámica Clásica (4º) son también de mucha utilidad, así como las técnicas de análisis matemático de variable compleja que se imparten en Métodos Matemáticos (2º). La Teoría de Campos es el lenguaje natural para describir los fenómenos físicos introducidos en la asignatura de Física Nuclear y de Partículas (4º).

Relación con asignaturas posteriores:

Esta asignatura se imparte en el último cuatrimestre del Grado de Física y es la culminación natural del aprendizaje de la Física Moderna. Los conocimientos adquiridos son útiles para profundizar en

otras materias que se imparten simultáneamente. El lenguaje y los métodos de la Teoría Cuántica de Campos son imprescindibles para poder seguir con aprovechamiento varias materias incluidas en los estudios posteriores del Master de Física Avanzada (Teoría Cuántica de Campos, Partículas Elementales, Teoría y Fenomenología de las Interacciones Electrodébiles, Teoría y Fenomenología de las Interacciones Fuertes)

III.- VOLUMEN DE TRABAJO

Semanas de trabajo: 15 semanas

Horas de trabajo del alumno: 25 por crédito ECTS

Horas Totales: 150

TIPO DE ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	HORAS
Asistencia a clases teóricas	3 horas/semana x 15 semanas	**45**
Asistencia a seminario práctico	1 hora/semana x 15 semanas	**15**
Estudio-preparación contenidos teórico- prácticos	Teoría: Problemas:	**40** **47**
	Tutorías individuales	3
TOTAL VOLUMEN DE TRABAJO		150

IV.- OBJETIVOS GENERALES

El curso es una introducción elemental a la Teoría Cuántica de Campos, enfatizando sus aplicaciones a la Física de las Partículas Elementales. Se discuten las ecuaciones de onda relativistas (Klein-Gordon y Dirac), sus problemas conceptuales y la necesidad de introducir un formalismo con muchos grados de libertad. Se enfatizan los aspectos más importantes de la Teoría Clásica de Campos, el papel de las simetrías y el procedimiento de cuantización, utilizando en este último caso el formalismo Hamiltoniano por ser más próximo a los conocimientos previos adquiridos en mecánica cuántica. Los estados de partículas son introducidos a través de la cuantización canónica de campos libres, de la forma más simple posible. El formalismo de campos en interacción se presenta a través de la matriz S y teoría de perturbaciones. Se pretende que el estudiante llegue a calcular procesos elementales (secciones eficaces y anchuras de desintegración) al orden más bajo en teoría de perturbaciones. Las técnicas desarrolladas son aplicadas a la Electrodinámica Cuántica. Finalmente se presentan algunas ideas elementales sobre Teorías Gauge No Abelianas y se deriva el Lagrangiano de la Cromodinámica Cuántica y el sector gauge de la Teoría Electrodébil, discutiendo sus principales implicaciones fenomenológicas y la necesidad de incorporar el bosón de Higgs.

V.- CONTENIDOS MÍNIMOS

- Cinemática y Mecánica Cuántica relativistas (temas 1 y 2).
- Simetrías y cuantización canónica de una Teoría de Campos (tema 3).
- Descripción de partículas libres (temas 4 y 5).
- Campos en interacción. Matriz S. Teoría de perturbaciones (tema 6).
- Cálculo de observables. Sección eficaz (tema 7).
- Electrodinámica Cuántica (tema 8).

VI.- DESTREZAS QUE SE DEBEN ADQUIRIR

- Conocer y comprender los problemas conceptuales que surgen al combinar la Mecánica Cuántica y la Relatividad Especial.
- Conocer y comprender las razones de la existencia de antimateria y sus implicaciones.
- Conocer y comprender el origen relativista del espín.
- Entender los conceptos fundamentales que rigen la descripción del mundo microscópico.
- Entender el papel de las simetrías en una Teoría de Campos y conocer el formalismo canónico de cuantización.
- Conocer cómo calcular amplitudes de probabilidad de procesos sencillos a partir de un Lagrangiano.
- Capacidad de entender las interacciones fundamentales a partir de simetrías, y predecir sus consecuencias físicas.
- Conocer los aspectos más relevantes de la Electrodinámica Cuántica.

VII.- HABILIDADES SOCIALES O TRANSVERSALES

- Entender y ser capaz de explicar de la forma más simple posible las leyes que rigen la estructura de la materia y del Universo en el que vivimos.

- Las propias de la Titulación de Física:

  - 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	**Partículas e Interacciones:** Constituyentes elementales de la materia. Interacciones y bosones mediadores. Relatividad especial. Transformaciones de Lorentz. Cinemática relativista. Campo electromagnético.	1,5
2	**Mecánica cuántica relativista:** Mecánica cuántica. Principio de correspondencia. Ecuación de Klein-Gordon. Ecuación de Dirac. Soluciones de la ecuación de Dirac. Necesidad de una Teoría Cuántica de Campos.	1,5
3	**Cuantización de una Teoría de Campos:** Oscilador armónico. Teoría clásica de campos. Cuantización. Simetrías y leyes de conservación.	1
4	**Partículas sin espín:** Campo de Klein-Gordon real. Representación número para bosones. Campo de Klein-Gordon complejo. Propagador de Feynman.	1,5
5	**Partículas de espín 1/2:** Representación número para fermiones. Cuantización. Propagador fermiónico. Conexión spin-estadística.	1
6	**Campos en interacción:** Matriz S. Teoría de perturbaciones. Cálculo de amplitudes. Reglas de Feynman.	1,5
7	**Observables:** Secciones eficaces y anchuras de desintegración. Espacio fásico. Análisis dimensional.	1
8	**Electrodinámica Cuántica (QED):** Invariancia de gauge. Lagrangiano de QED. Cuantización del campo electromagnético. Propagador del fotón. Reglas de Feynman. Procesos elementales a nivel árbol	2
9	**Cromodinámica Cuántica:** El color de los quarks. Teorías Gauge No Abelianas. Lagrangiano de QCD. Gluones. Libertad asintótica. Confinamiento.	2
10	**Teoría Estándar Electrodébil:** Lagrangiano electrodébil. Bosones $W^{\pm}$ y Z. Campo vectorial masivo. El bosón de Higgs. Fenomenología.	2

IX.- BIBLIOGRAFIA DE REFERENCIA

1) Básica

- F. Mandl and G. Shaw, "Quantum Field Theory", John Wiley & Sons, Chichester, 1993.
- I.J.R. Aitchison and A.J.G. Hey, “Gauge Theories in Particle Physics”, Vol. I: “From Relativistic Quantum Mechanics to QED”, Taylor & Francis Group, New York, 2003.
- W. Greiner and J. Reinhardt, “Field Quantization”, Springer-Verlag, Berlin, 1996

2) Complementaria

- M.E. Peskin and D.V. Schroeder, "An Introduction to Quantum Field Theory", Addison-Wesley, Boulder, 1995.
- F. Halzen and A.D. Martin, “Quarks and Leptons”, Wiley, New York, 1984.
- D. Griffiths, “Introduction to Elementary Particles”, John Wiley & Sons, New York, 1987.
- J.D. Bjorken and S.D. Drell, "Relativistic Quantum Mechanics", McGraw-Hill, New York, 1964.
- C. Quigg, “Gauge theories of the Strong, Weak and Electromagnetic interactions”, Benjamin/Cummings, Reading, MA, 1983.
- A. Pich, “Aspects of Quantum Chromodynamics”, arXiv:hep-ph/0001118 http://arxiv.org/pdf/hep-ph/0001118.
- A. Pich, “ The Standard Model of Electroweak Interactions”, arXiv:0705.4264 [hep-ph] http://arxiv.org/pdf/0705.4264.

X.- CONOCIMIENTOS PREVIOS

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

- **Conocimientos matemáticos:**

  1. Espacios vectoriales. Métrica y producto escalar.
  2. Operadores lineales.
  3. Transformadas de Fourier.
  4. Delta de Dirac.
  5. Análisis matemático de variable compleja.

- **Conocimientos físicos:**

  1. Mecánica Hamiltoniana y Lagrangiana
  2. Mecánica Cuántica
  3. Relatividad Especial. Transformaciones de Lorentz.
  4. Campos eléctricos y magnéticos: radiación electromagnética.

XI.- METODOLOGÍA

Durante el período lectivo se impartirán cuatro clases semanales, que se distribuirán en tres clases teóricas y una práctica:

- **Clases teóricas de pizarra**.
  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.**