



FICHA IDENTIFICATIVA

DATOS DE LA ASIGNATURA

Código: 43292

Nombre: Teoría cuántica de campos I

Ciclo: Máster Universitario Oficial

Créditos ECTS: 6

Curso académico: 2025-26

TITULACIONES

Titulación	Centro	Curso	Periodo
2150 - Máster Universitario en Física Avanzada	Facultat de Física	1	Primer cuatrimestre

MATERIAS

Titulación	Materia	Carácter
2150 - Máster Universitario en Física Avanzada	Introducción a la física teórica	OPTATIVA

COORDINACIÓN

CIERI - LEANDRO JAVIER

RESUMEN

En **Teoría cuántica de campos I** los estudiantes se adentrarán en los fundamentos del formalismo matemático esencial para el estudio de la física de partículas. Exploraremos los campos de Klein-Gordon, Dirac, fotón y Proca, y aprenderemos a calcular secciones eficaces y anchuras de desintegración utilizando las poderosas reglas de Feynman.

Además de examinar los procesos elementales de la electrodinámica cuántica (QED) y el concepto de renormalización, los estudiantes adquirirán la habilidad de calcular todas las amplitudes de dispersión disponibles en QED a orden más bajo en la teoría de perturbaciones para procesos $2 \rightarrow 2$, entre otros. Este curso proporcionará una base sólida para comprender las interacciones fundamentales de las partículas elementales, el crucial concepto de simetría de gauge y sus profundas implicaciones en la física moderna.

CONOCIMIENTOS PREVIOS

RELACIÓN CON OTRAS ASIGNATURAS DE LA MISMA TITULACIÓN

No se han especificado restricciones de matrícula con otras asignaturas del plan de estudios.



OTROS TIPOS DE REQUISITOS

COMPETENCIAS / RESULTADOS DE APRENDIZAJE

-

Analizar una situación compleja extrayendo cuales son las cantidades físicas relevantes y ser capaz de reducirla a un modelo parametrizado.

Conocer la fenomenología de las partículas elementales. Conocer cómo se clasifican las partículas elementales y las interacciones fundamentales. Comprender la relación entre el microcosmos y la formación del macrocosmos.

Conocer los dispositivos experimentales. Conocer la experimentación con la materia elemental y manejar los resultados.

Evaluar la validez de un modelo o teoría propuesto por otros miembros de la comunidad científica.

Exponer y defender públicamente el desarrollo, resultados y conclusiones de su trabajo en el área de la Física.

Ostentar la preparación para tomar decisiones correctas en la elección de tareas y en su ordenación temporal en su labor investigadora y/o profesional.

Que los/las estudiantes sean capaces de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos y juicios.

Que los/las estudiantes sepan aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio.

Que los/las estudiantes sepan comunicar sus conclusiones y los conocimientos y razones últimas que las sustentan a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades.

Ser capaz de gestionar información de distintas fuentes bibliográficas especializadas utilizando principalmente bases de datos y publicaciones internacionales en lengua inglesa.

DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS

1. Introducción: la necesidad de una teoría cuántica de campos

Presentaremos las motivaciones y necesidades de una teoría cuántica de campos relativista y los correspondientes aspectos históricos.



2. Los campos clásicos de Klein Gordon y Dirac

Aprenderemos a construir las ecuaciones de los campos de Klein-Gordon y Dirac, esenciales para describir partículas relativistas, y entenderemos sus propiedades fundamentales a través de sus lagrangianos, corrientes y cargas conservadas.

3. La simetría de Gauge en teorías Abelianas y no-Abelianas

La simetría de gauge es un principio fundamental en la física de partículas, que subyace a las interacciones fundamentales de la naturaleza. Discutiremos el principio fundamental de gauge, cómo surgen los términos de interacción y cómo emergen naturalmente los campos de gauge, en nuestro caso el fotón. También abordaremos cómo se modifica el escenario en teorías no abelianas de $SU(N)$ y brindaremos una breve reseña histórica.

4. Cuantización del campo de Klein-Gordon

En este capítulo, exploraremos la cuantización del campo libre de Klein-Gordon, partiendo de su densidad lagrangiana. Aprenderemos a promover las coordenadas a operadores en el espacio de Hilbert y detallaremos el proceso de segunda cuantización o cuantización canónica. Utilizando el oscilador armónico como introducción, definiremos la carga de un estado cuántico y la expresaremos en términos de operadores. Finalmente, discutiremos los primeros indicios de la necesidad de renormalización en la teoría cuántica de campos.

5. La cuantización del Campo de Dirac

Siguiendo una estructura similar a la utilizada para el campo de Klein-Gordon, abordaremos la cuantización del campo de Dirac. Nos detendremos especialmente en las diferencias cruciales en las relaciones de conmutación de los campos, que distinguen este caso del de Klein-Gordon.

6. Cuantización de los campos de fotón y de Maxwell-Proca: Desentrañando los grados de libertad y la elección del gauge

En este capítulo crucial, exploraremos la fascinante cuantización de los campos del fotón y del campo de Maxwell-Proca. Aprenderemos cómo la expansión en ondas planas, junto con una elección estratégica del gauge, nos permite desvelar los misterios de estas partículas fundamentales.

Abordaremos de manera directa los desafíos inherentes a la cuantización de estos campos, incluyendo la identificación de los grados de libertad físicos y espurios. Veremos cómo la elección del gauge influye en este proceso y cómo la ingeniosa solución de Fermi nos ayuda a superar uno de los obstáculos más importantes.

Finalmente, culminaremos nuestro viaje con el poderoso método de cuantización de Gupta-Bleuler. Analizaremos en detalle cómo la imposición del gauge se transforma en el contexto de campos que han sido sometidos a la segunda cuantización.



7. Campos cuánticos en interacción

Exploraremos los campos cuánticos en interacción, analizando cómo se modifican las reglas de cuantización y las diferentes representaciones en presencia de interacciones. Introduciremos la matriz de evolución y los conocimientos esenciales para comprender la matriz S , pieza clave en la teoría de dispersión.

8. La matriz S y el teorema de Wick

Este material explora la matriz S , una herramienta clave en teoría cuántica de campos para calcular probabilidades de transición, centrándose en su construcción perturbativa mediante la expansión en serie de Dyson y el teorema de Wick. Además, se presenta un ejemplo concreto en la teoría $\lambda\phi^4$, mostrando cómo obtener los primeros términos de la matriz S , deducir las reglas de Feynman y construir los diagramas correspondientes.

9. Las reglas de Feynman en la electrodinámica cuántica (QED): Desentrañando las interacciones fundamentales

En este capítulo crucial, exploraremos las reglas de Feynman, una herramienta poderosa para describir y calcular procesos de interacción en la electrodinámica cuántica (QED). Aprenderemos a identificar y aplicar estas reglas para construir diagramas de Feynman, representaciones visuales intuitivas de las interacciones entre partículas cargadas y fotones.

Abordaremos la noción fundamental del propagador en QED, comparándolo con el propagador en la teoría de Klein-Gordon para resaltar las diferencias clave. Además, profundizaremos en el concepto de causalidad en la teoría cuántica de campos, examinando cómo las reglas de Feynman garantizan la consistencia con la relatividad especial y la estructura causal del espacio-tiempo.

10. Cálculo de Amplitudes y Secciones Eficaces en QED: De Diagramas a Resultados Físicos

En este apartado, llevaremos la teoría a la práctica calculando amplitudes de dispersión a primer orden en QED para procesos de dos partículas iniciales y dos finales. Aprenderemos a dominar las reglas de cruce, que nos permiten conectar partículas entre estados inicial y final, y a explotar simetrías para simplificar cálculos.

Además, descubriremos cómo obtener elementos de matriz al cuadrado directamente de los diagramas de Feynman, agilizando el proceso. También nos adentraremos en el cálculo de un elemento de matriz a un loop, una introducción clave a los conceptos de renormalización en QED.

Éste capítulo explora el concepto de renormalización en la teoría cuántica de campos (QFT), centrándose en la electrodinámica cuántica (QED) y la cromodinámica cuántica (QCD). La renormalización es crucial



11. Introducción a la renormalización

para manejar las divergencias que surgen en los cálculos perturbativos de QFT debido a contribuciones de altas energías o cortas distancias.

VOLUMEN DE TRABAJO (HORAS)

ACTIVIDADES PRESENCIALES

Actividad	Horas
Teoría	40,00
Seminario	3,00
Otras actividades	3,00
Total horas	46,00

ACTIVIDADES NO PRESENCIALES

Actividad	Horas
Asistencia a otras actividades	0,00
Elaboración de trabajos individuales o en grupo	21,00
Estudio y trabajo autónomo	0,00
Preparación de clases	43,00
Preparación de actividades de evaluación	0,00
Resolución de casos prácticos	40,00
Total horas	104,00

METODOLOGÍA DOCENTE

MD1 - Clases teóricas lección magistral participativa.

MD2 - Discusión de artículos (lecturas).

MD3 - Resolución de problemas.

MD4 - Problemas

MD8 - Conferencias de expertos

EVALUACIÓN

La evaluación del curso se basa en:

- Un examen escrito basado en las clases teóricas y prácticas, que abarcará los resultados de aprendizaje y los objetivos específicos del curso (70%).



- Evaluación continua del alumno durante las clases teóricas y prácticas, incluyendo la participación, la realización de ejercicios en clase y la resolución de problemas propuestos (30%). La nota final se aprueba con un 5/10, y se requiere una nota mínima de 4,0/10 en el examen para promediar con la nota de la evaluación continua.

- No existen diferencias entre la primera y la segunda convocatoria del examen final. Hay que tener en cuenta que todos los ejercicios escritos deben entregarse antes de la primera convocatoria del examen final.

BIBLIOGRAFÍA

- M.E. Peskin and D.V. Schroeder, "An Introduction to Quantum Field Theory", 1995.
- C. Itzykson and J.B. Zuber, "Quantum Field Theory", McGraw-Hill, 1980.
- J.D. Bjorken and S.D. Drell, "Relativistic Quantum Fields", McGraw-Hill, 1965.
- S. Weinberg, "The Quantum Theory of Fields", Cambridge University Press, 1995.
- Francis Halzen and Alan D. Martin, "Quarks and Leptons: An Introductory Course in Modern Particle Physics", Wiley; First Edition (16/01/1991).
- David Griffiths, "Introduction to Elementary Particles", Wiley-VCH; 2nd edition (October 2008).
- J. Reinhardt and Walter Greiner, "Field Quantization", Springer; First Edition (01/01/1996).