



Universidad de La Laguna

**Guía Didáctica
Teoría Cuántica de Campos
(2011-2012)**

Vicente Delgado Borges

Departamento de Física Fundamental II
Universidad de La Laguna

1. DATOS DE LA ASIGNATURA

Título: Teoría Cuántica de Campos

Tipo: Asignatura Optativa

Titulación: Físicas

Curso: Cuarto

Cuatrimestre: Primero

Créditos: 6

Horas semanales: 4

Area de conocimiento: Física Aplicada

Departamento: Física Fundamental II

2. DATOS DEL PROFESOR

Nombre: Vicente Delgado Borges

Despacho: 59 de la 5ª Planta del edificio de Físicas y Matemáticas

Teléfono: 922-318274

Email: vdelgado@ull.es

Tutorías: Martes, miércoles y jueves de 17:30 a 19:30

3. DESCRIPCIÓN

La asignatura de Teoría Cuántica de Campos de la Licenciatura de Físicas de la Universidad de La Laguna es una asignatura optativa de 6 créditos que se imparte en el primer cuatrimestre del cuarto curso. Su carga docente corresponde a cuatro horas semanales de clase.

La Teoría Cuántica de Campos proporciona la formulación adecuada para la descripción de las partículas fundamentales y sus interacciones. En este formalismo las partículas constituyen los cuantos de los correspondientes campos cuánticos, y su evolución dinámica queda gobernada por las ecuaciones de movimiento de éstos últimos.

Los conceptos y herramientas de la Teoría Cuántica de Campos son imprescindibles para la Física de Altas Energías y resultan de gran utilidad en muchas otras disciplinas físicas, tales como la Cosmología Inflacionaria, la Física Nuclear, la Física Estadística Cuántica y la Física del Estado Sólido. Por este motivo, la Teoría Cuántica de Campos cada vez tiene más interés en el proceso de formación de un físico.

4. CONTEXTO EN EL QUE SE ENMARCA LA ASIGNATURA

Situada en el primer cuatrimestre del último curso de la Licenciatura, la Teoría Cuántica de Campos se encuentra al final del periodo de formación del alumno.

Los alumnos que cursan esta asignatura han cursado ya numerosas asignaturas de Métodos Matemáticos (Métodos Matemáticos I-VI) por lo que conocen la práctica totalidad de la herramienta matemática necesaria. Conocen el álgebra y el cálculo vectorial, el cálculo diferencial e integral, los operadores diferenciales, las estructuras algebraicas. En particular han estudiado los espacios vectoriales, las aplicaciones lineales, el álgebra de matrices y las ecuaciones de valores propios. También han estudiado las ecuaciones diferenciales tanto ordinarias como en derivadas parciales, las transformaciones de Fourier y Laplace, así como una introducción a las ecuaciones integrales.

Asimismo han cursado las asignaturas troncales de Mecánica Teórica, Electrodinámica Clásica y Mecánica Cuántica. Están, por tanto, familiarizados con los corchetes de Poisson y el método de cuantización canónica, con la notación tensorial habitual en el tratamiento del campo electromagnético y con el formalismo cuántico.

Por otra parte, aquellos alumnos que han escogido la asignatura optativa de Métodos Matemáticos VII han recibido un curso de teoría de grupos continuos. De todas formas, con objeto de hacer que la asignatura sea auto

contenida en la medida de lo posible, una parte del Programa se dedica a repasar la teoría de grupos continuos desde una perspectiva eminentemente práctica y pensando siempre en su aplicación a la Física de Altas Energías.

Con los conocimientos de que dispone el alumno no resulta difícil plantear un curso introductorio a la Teoría Cuántica de Campos.

5. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

Entre los objetivos específicos que se pretenden conseguir con el desarrollo del Programa de esta asignatura cabe destacar los siguientes:

- Proporcionar los fundamentos necesarios para el desarrollo de aquellas asignaturas de la Licenciatura que hacen uso del formalismo y los conceptos de la Teoría Cuántica de Campos.
- Diseñar un curso de Teoría Cuántica de Campos cuyo contenido y nivel sean tales que proporcione al alumno los conocimientos necesarios para que pueda seguir profundizando sin dificultad en esta disciplina y en aquellas otras relacionadas que hacen uso del formalismo de la Teoría Cuántica de Campos
- Proporcionar un conocimiento operativo de la Teoría Cuántica de Campos, de modo que el alumno aprenda a aplicar la teoría para calcular cantidades medibles.

Como objetivos más generales se pretende:

- Estimular la curiosidad del alumno y su deseo de aprender.
- Desarrollar su capacidad de abstracción de modo que favorezca la asimilación del conocimiento científico.
- Fomentar el desarrollo de un espíritu crítico e interés científico.
- Familiarizar al alumno con el método inductivo-deductivo de la ciencia.

Para facilitar estos objetivos se intentará promover la participación activa de los alumnos, por ejemplo planteando las explicaciones como una invitación a dar los pasos siguientes. Esto pondría a los alumnos en posición de descubrir por sí mismos los problemas que conlleva cualquier desarrollo científico, estimulando el desarrollo de su capacidad lógica y actitud crítica.

6. EVALUACIÓN

Para aprobar la asignatura basta con la asistencia regular y participativa en clase y la realización de una colección de ejercicios propuestos.

Para obtener nota se requiere la realización de un examen. El objetivo fundamental del examen es medir el nivel de asimilación y comprensión de la asignatura. El alumno podrá escoger entre un examen escrito sin apuntes o un examen oral con apuntes.

Con el exámen oral que, en principio, se realizaría en fecha solicitada por el alumno, se pretende facilitarle el trabajo, de modo que a la hora de estudiar sólo tenga que centrarse en la comprensión (y no en la memorización) de la materia explicada en clase.

7. PROGRAMA DE LA ASIGNATURA

I. INTRODUCCIÓN

- Fenomenología de partículas e interacciones fundamentales.
- Terminología y descripción general.
- Leptones y Quarks.
- Cromodinámica cuántica e interacción electro-débil.

I. SIMETRÍAS E INVARIANCIAS EN FÍSICA DE ALTAS ENERGÍAS

- Grupos de Lie.
- Constantes de movimiento.
- Teorema de Racah.
- Multipletes como bases de representaciones irreducibles del grupo de simetrías del sistema.
- Isospin.
- SU(2).
- Hipercarga.
- SU(3).
- Representaciones fundamentales.
- Quarks como constituyentes de los hadrones.
- Grupo de Poincaré.

III. CAMPOS LIBRES

- Campos clásicos.
- Cuantización de Dirac del campo electromagnético libre.
- Imagen de Heisenberg.
- Método de cuantización canónica.
- Teorema de Noether.
- Propiedades de transformación de los campos.

IV. CAMPO ESCALAR LIBRE

- Campo escalar neutro. Descomposición Fourier.
- Interpretación de las componentes de frecuencias negativa como operadores de creación de partículas.
- Espacio de Fock.
- Valores esperados en el vacío.
- Ordenación de Wick para operadores bosónicos.
- Campo escalar cargado. Descomposición Fourier.
- Invariancia global bajo $U(1)$.
- Conservación de la carga.
- Producto cronológicamente ordenado de campos.
- Propagador de Feynman.

V. CAMPO ELECTROMAGNÉTICO LIBRE

- Ecuaciones de movimiento del campo.
- Descomposición Fourier.
- Método de cuantización canónica y método de Gupta Bleuler.
- Propagador de Feynman.

VI. CAMPO SPINORIAL LIBRE

- Ecuación de Dirac. Descomposición Fourier.
- Ordenación de Wick para operadores fermiónicos.
- Invariancia global bajo $U(1)$.
- Conservación de la carga.
- Propagador de Feynman.

VII. CAMPOS EN INTERACCIÓN

- Introducción.
- Imagen de interacción.
- Desarrollo perturbativo del operador S .
- Teorema de Wick.
- Sección eficaz y ritmo de decaimiento.
- Diagramas de Feynman en el espacio de configuración y en el espacio de momentos.

VIII. INTRODUCCIÓN A LA QED

- Lagrangiano QED.
- Términos que contribuyen a la amplitud de transición a segundo orden.
- Diagramas tipo árbol. Scattering Compton.
- Scattering Bhabha.
- Difusión elástica de electrones.
- Aniquilación de pares.
- Diagramas con bucles.
- Polarización del vacío.
- Autoenergía del electrón.

8. COMENTARIOS AL PROGRAMA

El primer tema del programa, que tiene carácter introductorio, describe de forma general la fenomenología de las partículas e interacciones fundamentales. El siguiente tema pretende mostrar la importancia que tiene el estudio de los grupos de simetría en la Física Moderna y más especialmente en la Física de Altas Energías. Este tema sirve además para motivar el formalismo que se desarrolla a continuación en los temas siguientes.

La Teoría Cuántica de Campos propiamente dicha se trata en los temas que siguen a continuación, empezando con los campos libres para pasar luego al estudio de los campos en interacción.

Finalmente, en el último tema se aplica el formalismo a sistemas físicos realistas para calcular las amplitudes de transición y secciones eficaces diferenciales de los distintos procesos que contribuyen a orden más bajo en la Electrodinámica Cuántica spinorial.

9. TEMPORIZACIÓN

Tema 1: 1 semana

Tema 2: 2.5 semanas

Tema 3: 1 semana

Tema 4: 2 semanas

Tema 5: 1.5 semanas

Tema 6: 1.5 semanas

Tema 7: 2.5 semanas

Tema 8: 3 semanas

10. BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

- *Quantum Mechanics. Symmetries,*
Greiner and B. Müller (Springer-Verlag, 1989).
- *Relativistic Quantum Fields,*
J. D. Bjorken and S. D. Drell (McGraw-Hill, New York ,1965).
- *Particle Physics and Introduction to Field Theory,*
T. D. Lee (Harwood, New York, 1981).
- *Quantum Field Theory,*
C. Itzykson and J-B. Zuber (McGraw-Hill, 1985).

- *Quantum Fields*,
Bogoliubov and Shirkov (Benjamin Cummings, 1982).
- *Gauge Theories in Particle Physics*,
Aitchison and Hey (Adam Hilger, 1989).

El primer libro resulta adecuado para el primer Tema del Programa. El segundo, aunque descatalogado y algo desfasado, se ha incluido porque se trata de un clásico excelentemente escrito. Los tres libros que siguen son los más indicados para el desarrollo de la asignatura. Finalmente, el último libro proporciona una introducción muy elemental a las Teorías Gauge. Está escrito de forma muy amena y se recomienda en el Programa porque puede servir para que el alumno empiece a leer por su cuenta sobre estos temas.