

PROGRAMA DE TEORÍA CUÁNTICA DE CAMPOS

Curso 1976-79

I. FORMALISMO CANÓNICO Y PRINCIPIOS DE INVARIANCIA1. Sistema clásico y su cuantificación

- 1.1 Del principio de Hamilton a las ecuaciones de Lagrange (Método de Euler).
- 1.2 Ecuaciones de Hamilton (Teorema de Donkin).
- 1.3 Formulación mediante corchates de Poisson.
- 1.4 Cuantificación de un sistema en imagen de Heisenberg.

2. Cuantificación de campos

- 2.1 Densidad lagrangiana y ecuaciones del campo.
- 2.2 Momento conjugado y segunda cuantificación.
- 2.3 Cuantificación de campos asociados.

3. Principios de invariancia y teorema de Noether

- 3.1 Variación de la acción bajo una transformación infinitesimal de coordenadas y campos.
- 3.2 Teorema de Noether.
- 3.3 Transformación de simetría y transformaciones de Noether.

4. Grupo de Poincaré y sus representaciones

- 4.1 Evocación de los grupos de Lorentz y Poincaré.
- 4.2 Álgebra de generadores.
- 4.3 Representaciones espinoriales y representaciones unitarias.

5. Covariancia de campos cuánticos

- 5.1 Aplicación del teorema de Noether a transformaciones de Poincaré y transformaciones de aforo.
- 5.2 Covariancia del operador campo bajo transformaciones de Poincaré y transformaciones de aforo.
- 5.3 Consistencia covariante de una teoría cuántica de campos.

II. EJEMPLOS DE CUANTIFICACIÓN DE UN CAMPO LIBRE6. Campo de Klein-Gordon neutro (I)

- 6.1 Ecuación de Klein-Gordon y su formulación lagrangiana.
- 6.2 Segunda cuantificación.
- 6.3 Operadores momento lineal y momento angular.
- 6.4 Solución de la ecuación de Klein-Gordon. Operadores de creación y aniquilación.

7. Campo de Klein-Gordon neutro (II)

- 7.1 Contrucción del espacio de Fock.
- 7.2 Energía del vacío y ordenación normal.
- 7.3 Estadística de Bose-Einstein.
- 7.4 Conmutador covariante. Causalidad microscópica.

8. Campo de Klein-Gordon cargado

- 8.1 Formalismo lagrangiano y segunda cuantificación.
- 8.2 Operadores de creación y aniquilación. Espacio de Fock.
- 8.3 Corriente conservada.
- 8.4 Propagador de Feynman.

9. Ecuación de Dirac y su covariancia

- 9.1 Ecuación de Dirac y su formulación lagrangiana.
- 9.2 Propiedades de las matrices de Dirac.
- 9.3 Representación del grupo de Lorentz sobre los espinores de Dirac.

10. Soluciones de la ecuación de Dirac

- 10.1 Ecuaciones y propiedades de los espinores de Dirac.
- 10.2 Expresión covariante de los espinores de Dirac.
- 10.3 Proyectores de energía y de espín.

11. Campo de Dirac (I)

- 11.1 Número de ocupación fermiónico y anticonmutadores.
- 11.2 Segunda cuantificación del campo de Dirac.
- 11.3 Operadores de creación y aniquilación. Espacio de Fock.
- 11.4 Operadores momento y carga. Ordenación normal.

12. Campo de Dirac (II)

- 12.1 Covariancia del operador de Dirac.
- 12.2 Forma covariante del anticonmutador.
- 12.3 Propagador de Feynman para campo de Dirac.

13. Campo de Maxwell clásico

- 13.1 Campo electromagnético clásico.
- 13.2 Potencial electromagnético y sus aforos.
- 13.3 Formulación lagrangiana de las ecuaciones de Maxwell.
- 13.4 Operadores momento lineal y momento angular.

14. Cuantificación del campo de Maxwell

- 14.1 Cuantificación del campo electromagnético.
- 14.2 Solución de la ecuación de Maxwell. Operadores de creación y aniquilación.
- 14.3 Propagador de Feynman para fotones transversos.

III. CAMPOS EN INTERACCIÓN Y SIMETRÍAS DISCRETAS

15. Interacción electromagnética (I)

- 15.1 Formulación lagrangiana de la interacción de campos de Dirac y Maxwell.
- 15.2 Segunda cuantificación.
- 15.3 Operadores momento lineal y momento angular.

16. Interacción electromagnética (II)

- 16.1 Solución de las ecuaciones de interacción.
- 16.2 Operadores de creación y aniquilación.
- 16.3 Carga y energía del vacío. Orden normal.

17. Paridad P

- 17.1 Condiciones de conservación de la paridad.
- 17.2 Operador de paridad para campos de Klein-Gordon y de Maxwell.
- 17.3 Operador de paridad para campo de Dirac.
- 17.4 Operador de paridad para campos en interacción.

18. Inversión temporal T

- 18.1 Inversión temporal y teorema de Wigner.
- 18.2 Operador de inversión temporal para campos de Klein-Gordon y de Maxwell.
- 18.3 Operador de inversión temporal para campo de Dirac.
- 18.4 Operador de inversión temporal para campos en interacción.

19. Conjugación de cargas C

- 19.1 Definición de la conjugación de cargas.
- 19.2 Operador de conjugación de cargas para campos de Klein-Gordon y Maxwell.
- 19.3 Operador de conjugación de cargas para campo de Dirac.
- 19.4 Operador de conjugación de cargas para campos en interacción.

20. Teorema CPT

- 20.1 Enunciado del teorema CPT.
- 20.2 La reflexión fuerte de Pauli-Schwinger.
- 20.3 Demostración del teorema CPT.

IV CÁLCULO PERTURBATIVO DE PROCESOS DE INTERACCIÓN

21. Matriz S y su desarrollo perturbativo

- 21.1 Estados físicos "in" y "out".
- 21.2 La matriz S y sus propiedades.
- 21.3 Operador de evolución y su desarrollo perturbativo.
- 21.4 Expresión invariante del operador S.

22. Teoremas de Wick

- 22.1 Utilidad y enunciado de los teoremas.
- 22.2 Lemmas previos y demostración.
- 22.3 Aplicación a la interacción electromagnética en segundo orden.

23. Diagramas de Feynman

- 23.1 Operador S y diagrama de Dyson.
- 23.2 Elemento de matriz S y diagramas de configuración.
- 23.3 Diagramas de momentos. Reglas de Feynman.

24. Cálculo de secciones eficaces

- 24.1 Probabilidad de transición por unidad de cuadvolumen.
- 24.2 Ritmo de desintegración.
- 24.3 Sección eficaz diferencial y total.

25. Cinemática de reacciones a dos cuerpos

- 25.1 Invariantes de Mandelstam.
- 25.2 Variables cinemáticas en el sistema centro de masas y en el sistema del laboratorio.
- 25.3 Integrales de espacio de fases.

26. Técnicas de cálculo con matrices de Dirac

- 26.1 Elementos de matriz de transición módulo al cuadrado.
- 26.2 Teoremas de trazas de matrices de Dirac.
- 26.3 Identidades con matrices de Dirac.

V. APLICACIÓN A PROCESOS DE ELECTRODINÁMICA CUÁNTICA

27. Estudio de la dispersión Compton

- 27.1 Cálculo del elemento de matriz de transición.
- 27.2 Cálculo de la sección eficaz.
- 27.3 Fenomenología en los límites infra-relativista y ultra-relativista.

28. Estudio de la aniquilación de pares

- 28.1 Cálculo del elemento de matriz de transición.
- 28.2 Cálculo de la sección eficaz.
- 28.3 Fenomenología en los límites infra-relativista y ultra-relativista.

29. Estudio de la dispersión Møller

- 29.1 Cálculo del elemento de matriz de transición.
- 29.2 Cálculo de la sección eficaz.
- 29.3 Fenomenología en los límites infra-relativista y ultra-relativista.

30. Estudio de la dispersión Bhabha

- 30.1 Cálculo del elemento de matriz de transición.
- 30.2 Cálculo de la sección eficaz.
- 30.3 Fenomenología en los límites infra-relativista y ultra-relativista.

31. Estudio de la dispersión coulombiana

- 31.1 Lagrangiano electromagnético para campo externo.
- 31.2 Cálculo de la sección eficaz.
- 31.3 Cálculo de las polarizaciones.

32. Correcciones radiativas

- 32.1 Diagramas de orden superior.
- 32.2 Bucles y divergencias.
- 32.3 Regularización de Pauli-Villars.
- 32.4 Técnicas de integración de Feynman

33. Corrección de vértice

- 33.1 Factores de forma del electrón.
- 33.2 Cálculo de la corrección de vértice, en 2º orden.
- 33.3 Renormalización de la función de vértice.
- 33.4 Momento magnético anómalo del electrón.

34. Autoenergía del electrón

- 34.1 Expresión general de la autoenergía del electrón.
- 34.2 Cálculo de la autoenergía propia, en 2º orden.
- 34.3 Identidad de Ward, en 2º orden.
- 34.4 Renormalización del propagador del electrón.

35. Polarización del vacío

- 35.1 Expresión general de la polarización del vacío.
- 35.2 Cálculo de la polarización del vacío, en 2º orden.
- 35.3 Renormalización del propagador del fotón.
- 35.4' Contribución de la polarización del vacío al corrimiento Lamb.

VI. APLICACIÓN A OTROS PROCESOS DE INTERACCIÓN ENTRE PARTICULAS

36. Fenomenología de los bariones estables

- 36.1 Los nucleones y su estabilidad.
- 36.2 El hiperón Λ , y su espín.
- 36.3 Los hiperones Σ ; su espín y paridad.
- 36.4 Los hiperones Ξ . El barión Ω^- .

37. Fenomenología de los mesones estables

- 37.1 Los mesones π ; su espín y paridad.
- 37.2 Los mesones K; su espín (plot de Dalitz) y paridad (enigma $\theta-\tau$).
- 37.3 El mesón η .

38. Interacción electromagnética de partículas de Klein-Gordon

- 38.1 Lagrangiano de interacción electromagnética.
- 38.2 Diagramas y reglas de Feynman.
- 38.3 Dispersión coulombiana de mesones.
- 38.4 Dispersión Compton sobre mesones.

39. Teoría de las interacciones débiles

- 39.1 Lagrangiano fenomenológico de Fermi-Cabibbo.
- 39.2 Corriente leptónica $V-A$ y neutrinos a dos componentes.
- 39.3 Corrientes hadrónicas e hipótesis CVC.
- 39.4 Clasificación de los procesos de interacción débil.

40. Procesos leptónicos

- 40.1 Cálculo del ritmo de desintegración del muón.
- 40.2 Valor de la constante de Fermi.
- 40.3 Dispersión leptónica de neutrinos.

41. Procesos semi-leptónicos

- 41.1 Cálculo de los ritmos de desintegración π_{12} y K_{12} .
- 41.2 Valor del ángulo de Cabibbo.
- 41.3 Ritmo de desintegración K_{e3} .

42. Procesos no-leptónicos

- 42.1 Sistema κ^0 - $\bar{\kappa}^0$ y violación de CP.
- 42.2 Parámetros de violación de CP, T y CPT.
- 42.3 Modelos de violación de CP.

43. Teoría de las interacciones fuertes

- 43.1 Lagrangiano de Yukawa.
- 43.2 Transformaciones de aforo electromagnético, bariónico y de isospín.
- 43.3 Procesos de interacción fuerte y diagramas de Feynman.

44. Estudio de la dispersión pión-nucleón

- 44.1 Cálculo de dispersión pión-nucleón en el límite infra-relativista.
- 44.2 Proyectores de isospín y de momento angular.
- 44.3 Sección eficaz diferencial y relaciones de isospín

45. Correcciones fuertes a procesos electromagnéticos

- 45.1 Factor de forma electromagnética y dispersión coulombiana del pión.
- 45.2 Factores de forma electromagnéticas del nucleón.
- 45.3 Dispersión electrón-protón.

46. Simetría unitaria

- 46.1 Isospín, hipercarga y simetría unitaria.
- 46.2 Clasificación de los hadrones.
- 46.3 Clasificación de las corrientes y ruptura de la simetría.
- 46.4 Los quarks y la simetría SU(6).

BIBLIOGRAFIA

I. Para el conjunto del programa:

- 1. J.D. BJORKEN, y S.D. DRELL
Relativistic quantum mechanics
McGraw-Hill, New York 1963
- 2. J.D. BJORKEN, y S.D. DRELL
Relativistic quantum fields
McGraw-Hill, New York 1964

II. Para consulta sobre teoría cuántica de campos:

- 3. N.N. BOGOLIUBOV, y D.V. SHIRKOV
Introduction to the theory of quantized fields
J. Wiley, New York 1959
- 4. S.S. SCHWEBER
An introduction to relativistic quantum field theory
Row and Peterson, Evanston (Ill.) 1961
- 5. D. LURIE
Particles and fields
Interscience, New York 1966

III. Sobre electrodinámica cuántica:

- 6. J.M. JAUCH, y F. ROHRlich
The theory of photons and electrons
Addison-wesley, Reading (Mass.) 1955
- 7. A.I. AKHIEZER, y V.B. BERESTETSKII
Quantum electrodynamics
Interscience, New York 1968

IV. Sobre partículas elementales

- 8. G. KÄLLEN
Elementary particle physics
Addison-Wesley, Reading (Mass.) 1964