

TEORIA DE CAMPOS DE GAUGE

Programa

I. Teoría Clásica de Campos de Gauge.

I.1. Introducción.

Introducción a las teorías de gauge: Teoría de Fermi de las interacciones débiles. Comportamiento a altas energías. Teorías con vectores bosónicos masivos. Mecanismos de rompimiento espontáneo de simetría como una manera natural de inducir una masa a los campos vectoriales. La propiedad de libertad asintótica.

I.2. Teorías de gauge abelianas.

Electrodinámica Escalar. Invariancia de gauge. Teorema de Noether. Derivación covariante. Transporte paralelo. Representación de caminos. Operador de holonomía. Tensor de campo.

I.3. Rompimiento espontáneo de simetrías.

Invariancia de gauge global y local. Rompimiento espontáneo de simetrías globales, Teorema de Goldstone. Rompimiento espontáneo de simetrías locales, mecanismo de Higgs. Aplicaciones: la teoría de Landau y Ginzburg de la superconductividad: efecto Meissner, campo crítico. La teoría de Landau de transiciones de fase de segundo orden: distancia de correlación; frenado crítico. Convexidad de la energía libre; construcción de Maxwell. Formación de dominios y defectos topológicos. Leyes de conservación topológicas. Ejemplos: cuantificación del flujo atrapado; cuerdas cósmicas.

I.4. Conceptos de Teoría de Grupos.

Grupos de Lie. Grupos $SU(N)$. Representaciones unitarias. Representaciones irreducibles. Lema de Schur. Coordenadas canónicas. Generadores. Algebra de un Grupo de Lie. Transformaciones infinitesimales. Constantes de estructura. Representación adjunta. Identidad de Jacobi.

I.5. Teorías de gauge no Abelianas.

Construcción de Yang - Mills. Derivación covariante. Transformación de los potenciales. Operadores de Holonomía. Tensor de campo. Lagrangiano del campo de Yang - Mills. Autointeracción de los campos de gauge. El tensor de campo como conmutador de derivadas covariantes. El tensor dual. Rompimiento espontáneo de simetrías no abelianas: teorema de Goldstone y mecanismo de Higgs.

I.6. El Modelo Standard.

Modelo de Weinberg - Salam de las interacciones débiles leptónicas Electrones y neutrinos: masa, spin, paridad, isospin e hipercarga. Fórmula de Gell - Mann y Nishima. Campos vectoriales en la teoría con grupo de gauge $SU(2) \times U(1)$. Acoplamiento de Yukawa entre leptones y escalares de Higgs; la masa del electrón. Incorporación de quarks en el modelo; masa de los quarks "up" y "down". Campos de Higgs. Rompimiento espontáneo de simetría. Emergencia del grupo de simetría $U(1)$ electromagnético. Los campos W^\pm y Z ; ángulo de Weinberg. Cromodinámica cuántica. Color y gluones. Libertad asintótica y confinamiento. Teorías gran unificadas.

I.7. Conceptos de topología y geometría diferencial.

Espacios topológicos. Variedades. Grupos de Lie. Campos vectoriales invariantes. El plano tangente por el origen y el álgebra de Lie del grupo. Métrica invariante de un grupo de Lie. Campos de Killing. Derivada de Lie. Medida invariante; integración sobre el grupo.

I.8. Métodos topológicos en teorías de gauge.

Concepto de homotopía. Grupos de homotopía. Cálculo de los grupos de homotopía de variedades sencillas. Leyes de conservación topológicas. Teorema de Derrick. Soluciones de energía finita en teorías de Yang - Mills. Teorema de la Estabilidad de Defectos. Instantones. Vórtices. Monopolo de 't Hooft - Polyakov. Soluciones euclídeas de teorías de Yang - Mills.

I.9. Descripción Hamiltoniana de campos de gauge.

Formulación de Hamilton y Jacobi de la mecánica clásica. Formulación canónica del electromagnetismo. Invariancia de gauge y vínculos. Multiplicidad de los Hamiltonianos posibles. Formulación canónica de teorías de Yang - Mills. Transformaciones de gauge y transformaciones canónicas. Transformación de los multiplicadores de Lagrange. Algebra de corchetes de Poisson.

II. Teoría Cuántica de Campos de Gauge.

II.1. Cuantificación de teorías de gauge mediante Integrales de Camino

Funcional Generador de diagramas de Feynman. Integrales de Camino. Integrales de Camino para campos fermiónicos. Integrales de Camino en el Espacio de las Fases. Cuantificación de teorías de gauge mediante Integrales de Camino en el Espacio de las Fases. Método de Fadeev-Popov. Cálculo directo de la Integral de Camino.

II.2. Cálculos perturbativos en teorías cuánticas de gauge.

Reglas de Feynman para teorías de gauge. Diagramas conexos. Acción Efectiva. Potencial Efectivo. Método del "campo de fondo". Expansión en lazos. Método de la función ζ para la evaluación de integrales funcionales.

II.3. Renormalización de teorías de gauge abelianas.

Divergencias primitivas. Renormalización multiplicativa. Parámetros desnudos y vestidos. Renormalización e invariancia de gauge. Estructura a un lazo de la electrodinámica cuántica. Autoenergía del fotón. Matrices de Dirac euclídeas y regularización dimensional.

II.4. Grupo de renormalización.

Prescripciones de renormalización. Sustracción mínima y sustracción mínima modificada. Escala de renormalización. Grupo de renormalización. Función β . Ecuación de Gell - Mann y Low. Logaritmos principales. Resumación de la serie perturbativa. Aplicaciones al estudio de sistemas condensados; bloques de Kadanoff y transformaciones de escala.

II.5. Renormalización de teorías de gauge no abelianas.

Simetría BRST. Identidades de Takahashi y Ward y de Slavnov y Taylor. Acción Efectiva invariante de gauge. Potencial efectivo. Potencial de Coleman y Weinberg. Libertad asintótica. Evidencia de libertad asintótica en las interacciones fuertes. Confinamiento y scattering inelástico profundo.

II.6. Teorías de campos de gauge a temperatura finita.

Función de Partición. Potencial Efectivo y Energía Libre. Método de Matsubara. Método de Schwinger-Keldish. Límite de altas temperaturas. Restauración de simetrías. Transiciones de Fase. Campos de gauge fuera de equilibrio térmico. Plasmas de quarks y gluones.

II.7. Anomalías.

El concepto de anomalía. Método de Fujikawa. Anomalía conforme. Anomalía chiral. Diagrama triángulo. Teorema del índice. Aplicaciones. El modelo standard; inclusión de color y cancelación de anomalías.

II.8. Métodos no perturbativos en teorías cuánticas de gauge.

Sumación de Borel de la serie perturbativa; comportamiento a altos órdenes. Cálculo exacto de la integral funcional; efecto Schwinger. Uso de integrales euclídeas para estimar la energía del vacío. Contribución de instantones a la Función de Partición. Estructura del vacío de un campo de gauge. Vacío θ . Anyones. Estados metaestables. Efecto túnel.

II.9. Cromodinámica cuántica en la red.

Campos escalares y fermiónicos. Algoritmo de Metropolis. Campos de gauge. Variables de eslabón. Plaquetas de Wilson. La aproximación de fermiones congelados. Régimen de acoplamiento fuerte. Confinamiento. Fermiones dinámicos. Orden de la transición de fase de deconfinamiento.

Bibliografía

- K. Huang, *Quarks, Leptons and Gauge Fields*, World Scientific, Singapur (1982).
- S. Coleman, *Aspects of Symmetry*, Cambridge University Press, Cambridge (RU) (1985).
- P. Ramond, *Field Theory, a Modern Primer*, 2ª edición, Benjamin/Cummings, Reading (1988).
- C. Nash y S. Sen, *Topology and Geometry for Physicists*, Academic Press, London (1983).
- S. Treiman, R. Jackiw, B. Zumino y E. Witten, *Current Algebra and Anomalies*, Princeton University Press, Princeton (1985).
- H. Georgi, *Lie Algebras in Particle Physics*, Benjamin/Cummings, Menlo Park (1982).
- G. Ross, *Grand Unified Theories*, Benjamin/Cummings, Menlo Park (1984).
- E. Fradkin, *Field theories of Condensed Matter Systems*, Addison-Wesley, Redwood City (1991).
- T. Cheng y L. Li, *Gauge Theory of Elementary Particle Physics*, Clarendon Press, Oxford (1984).