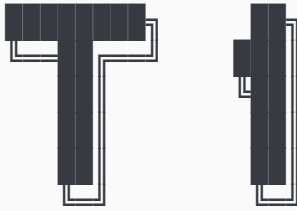


## Tema 0: Introducción e historia

- Dos grandes revoluciones en la física en el SXX: QM y GR.
- Al juntarlas se desarrolla la QED:
  - Régimen cuantico
  - Cualquier velocidad
  - Da lugar a fenómenos nuevos:
    - Existencia de antipartículas
    - Posibilidad de producir partículas
    - Conexión espín-estadística:

- Entero: BE
- Semientero: FD
- Teorema CPT
  - No existe invariancia uno a uno
  - Si existe la conjunta
- Modelo Estándar.



# Tema 1: Ecuaciones de Klein-Gordon y de Dirac

## 1.0 Roadmap

### 1.1 Repaso: ¿Qué es una ecuación de onda?

- Ecuación de Schrödinger de una partícula no relativista
  - General, vale para cualquier sistema cuántico
  - EqSchrö para cada partícula lleva a una ecuación de onda
  - Las “instancias” de la ecuación de Schrödinger suelen llamarse ecuaciones de onda
- Un sistema físico se describe por un ket perteneciente al espacio de estados del sistema
- La evolución temporal del estado se obtiene con la actuación del operador de Hamilton
- Lo que cambia del caso no relativista al relativista es el espacio de estados y la forma del hamiltoniano
- Eg: Partícula no relativista en una dimensión
  - Al ser cuántico recurrimos a las reglas de cuantización canónicas:
- Espacio de estados del sistema

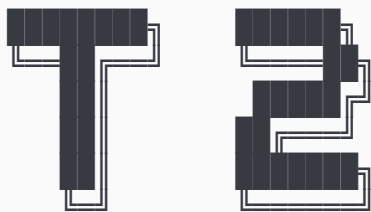
### 1.2 Ecuación de Klein-Gordon

- Sistema natural de unidades
- Ecuación de onda de Klein-Gordon
  - Autoestados del Hamiltoniano
  - Espacio de Minkowski + SdR inercial
    - Métrica de Minkowski
    - Componentes covariantes
  - Klein-Gordon relativista partícula libre spin 0
    - D'Alambertiano
    - Soluciones
      - Energía positiva y negativa
    - Forma covariante de la ecuación de continuidad
- Generalizaciones de Klein-Gordon al caso de interacciones electromagnéticas
  - Ecuaciones de Maxwell
  - Cuadrivector potencial
  - Dinámica relativista
    - Acción
    - Momento canónico conjugado
    - Hamiltoniano
    - Operador cuadrimomento
    - Derivada covariante
    - Cuadrivector densidad de carga eléctrica

## 1.3 Ecuación de Dirac

- Propiedades/condiciones
  - Espinores
  - Hamiltoniano de Dirac
  - Cuadriespinor
- Ecuación de Dirac compacta
  - Notación de Feynmann
  - Matrices gamma
- Representaciones
  - De Dirac
    - Matrices de Pauli
  - De Weyl
- Propiedades de la matriz de Dirac
  - Conjugado de Dirac
  - Conservación de la 4corriente
- Teoría de Maxwell-Dirac
  - Densidad lagrangiana
  - Ecuación de Maxwell-Dirac
- Límite no relativista de la ecuación de Dirac
  - Espinores
  - Funciones de evolución lenta
  - Reducción no relativista de la ecuación de Dirac
  - Matrices de espín
- Ecuación de Pauli
  - Momento magnético de espín
  - Radio giromagnético
- Átomo de hidrógeno
  - Estructura fina

- Potencial del átomo de hidrógeno
- Corrección relativista
- Efecto Lamb e hiperfina
- Ecuación de Dirac en el caso general
  - Representación de Weyl
    - Onda plana
    - Ansatz
    - Biespinor
    - Soluciones
      - Problemas de las soluciones
    - Helicidad
      - Operadores
- Solución de la ecuación de Dirac para partícula libre
  - Estados de energía negativa
  - Mar de Dirac



## Tema 2 : Cuantización del campo electromagnético.

### 2.1 Cuantización canónica

- Formalismo lagrangiano
- Formalismo Hamiltoniano
- Cuantización
- El oscilador armónico cuántico
  - Resolución algebraica
  - Operadores escalera y número
  - Propiedades

### 2.2 Cuantización del campo electromagnético

- Campo electromagnético clásico
  - Cuadripotencial y cuadricorriente
  - Ecuaciones de Maxwell
  - Gauge
    - Condición de Lorentz
  - En el vacío
  - Gauge de radiación
    - Vector de polarización
  - Gauge transversal
    - Base de polarización
- Campo electromagnético en una cavidad
  - Condiciones de contorno periódicas
  - Desarrollo de Fourier
  - Densidad de Autoestados Fórmula de cálculo vectorial
  - Solución más General
  - Potencial vector en una cavidad
    - Cambio de variable
- Cuantización
  - Operadores
  - Estados número
  - Base de números de ocupación
  - Operadores de campo
  - Representaciones
    - Representación de Schrödinger
    - Representación de Heisenberg
      - Evolución operadores escalera
  - Valores esperados

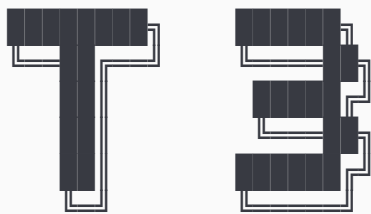
## 2.3 Emisión y absorción de fotones por átomos

- Estado estacionario
- Base de Estados
- Absorción y Emisión de un fotón
  - Absorción
    - Aproximación semiclásica
  - Emisión
    - Emisión inducida
    - Emisión espontánea

## 2.4 Teoría de perturbaciones dependientes del tiempo

- Hamiltoniano de interacción
  - Probabilidad
  - Serie de potencias
- Elementos de Matriz
  - Aproximación de orden 0
  - Aproximación de orden 1: Aproximación de Born
- Aplicaciones; Emisión espontánea
  - Aproximación dipolar

- Elementos de Matriz
- Hamiltoniano de interacción en Aproximación dipolar
- Vida media de un estado excitado
  - Autoestados con armónicos esféricos
  - Probabilidad de transición



## Tema 3: Cuantización canónica covariante de un campo escalar.

### 3.1 Teoría clásica de campos relativista

- Espacio de Minkowski
  - Elemento de volumen
  - Principio de mínima acción
  - Condiciones en la frontera
  - Teorema de Gauss
- Ejemplos
  - 1. Campo escalar real
  - 2. Campo escalar complejo
  - 3. Campo electromagnético
  - 4.
  - 5. Cuadriespinor de Dirac
- Ecuación de Dirac de una partícula cargada

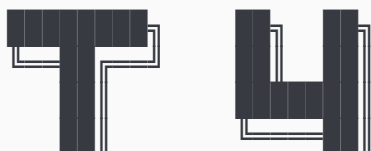
### 3.2 Campo escalar real

- Momento canónico Conjugado
- Densidad hamiltoniana
- Hamiltoniano clásico
- Relaciones de conmutación

- Evolución en representación de Heisenberg
- Solución general de la ecuación de Klein-Gordon
- Invarianza Lorentz
- Lorentz Invariant Phase Space de una partícula
- Relaciones de conmutación de creación y destrucción
- Estado vacío vs estado nulo
- Interpretación heurística de la delta de Dirac
- Espacio de estados
  - Conexión espín-estadística
- Valor esperado de la energía en el vacío
  - Transformada de Fourier
  - Densidad de partículas con momento  $k$
- Orden normal de un operador
  - Producto cronológico
  - Propagador o función de Green
    - Teorema de función de Green
  - Integración por residuos
    - Teorema de Cauchy
    - Integral de Feynman
- Más sobre el operador campo

### 3.3 Campo escalar complejo

- Momento canónico Conjugado
- Densidad hamiltoniana
- Campo complejo + Electromagnetismo
  - Derivada covariante
- Solución de Klein-Gordon para un campo complejo escalar
  - Conmutadores
  - Partículas y antipartículas
  - Operador carga eléctrica
    - Observables simultáneos
- Repaso de Representaciones
  - Imagen de Schrödinger
  - Imagen de Heisenberg
  - Imagen de interacción o de Dirac
    - Operador evolución libre
- Ecuación de Schrödinger dependiente del tiempo
  - Método de Von-Neumann
  - Notas de normalización

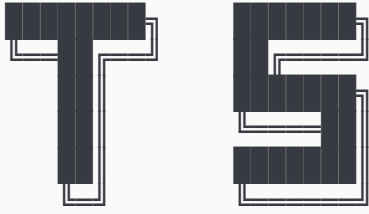




## Tema 4: Matriz S, secciones eficaces y vidas medias.

- Densidad de probabilidad
  - Operador de scattering
    - Elementos de matriz
    - Matriz de reacción
- Casos
  - Desintegración de Partículas
    - Anchura de Desintegración
    - Nota sobre anchuras
    - Promedio de Estados
    - Canal de Desintegración
    - Fracción de Desintegración o Branching Ratio
  - Colisión de dos Partículas
    - Sección eficaz
      - Sección eficaz diferencial
    - Caso cuántico General
    - Sección eficaz no polarizada
    - Complicaciones
      - Varios estados de espín
      - Varios canales de Desintegración
- Colisiones y desintegraciones a dos cuerpos
  - Anchura a dos cuerpos
  - Caso particular: Colisión elástica
  - Amplitudes de dispersión y teoría de perturbaciones
    - Amplitud de probabilidad de transición
    - Término de autointeracción
  - Contracción
  - Función de Green de dos puntos
  - Cambio de variables: Coordenadas relativistas
- Diagramas de Feynman
  - Variables de
  - Reglas de Feynman
    - Flujo de carga
    - Flujo de momento
    - Diagramas de aniquilación
    - Vértices





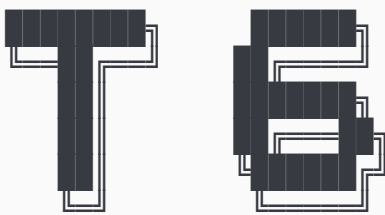
---

## Tema 5: Cuantización canónica de campos fermiónicos.

- Campos fermiónicos libres

### 5.1 Cuantización canónica

- Relaciones de conmutación y anticonmutación
- Soluciones de la ecuación de Dirac en función de operadores de creación y destrucción
- Operadores número de partículas y antipartículas
- Espacio de Fock
  - Principio de exclusión de Pauli
- La función de dos puntos o Propagador



---

## Tema 6: Electrodinámica cuántica.

- Lagrangiano clásico Maxwell-Dirac
- Invarianza Gauge

- Teoría de perturbaciones
- Campo Fermiónico
- Operadores de campo
- Relaciones de conmutación
- Funciones de dos puntos
  - Propagador del fotón
- Amplitudes de dispersión en electrodinámica cuántica
- Dispersión Moller
- Dispersión Bhaba
- Reglas de Feynman en electrodinámica cuántica
- Dispersión Compton
- Propiedades importantes
- Secciones eficaces no polarizadas
  - Dispersión Moller
  - Capa de masas
- Límites de una teoría relativista
  - No relativistas
  - Ultrarrelativista
- Dispersión Bhaba
- Dispersión Compton