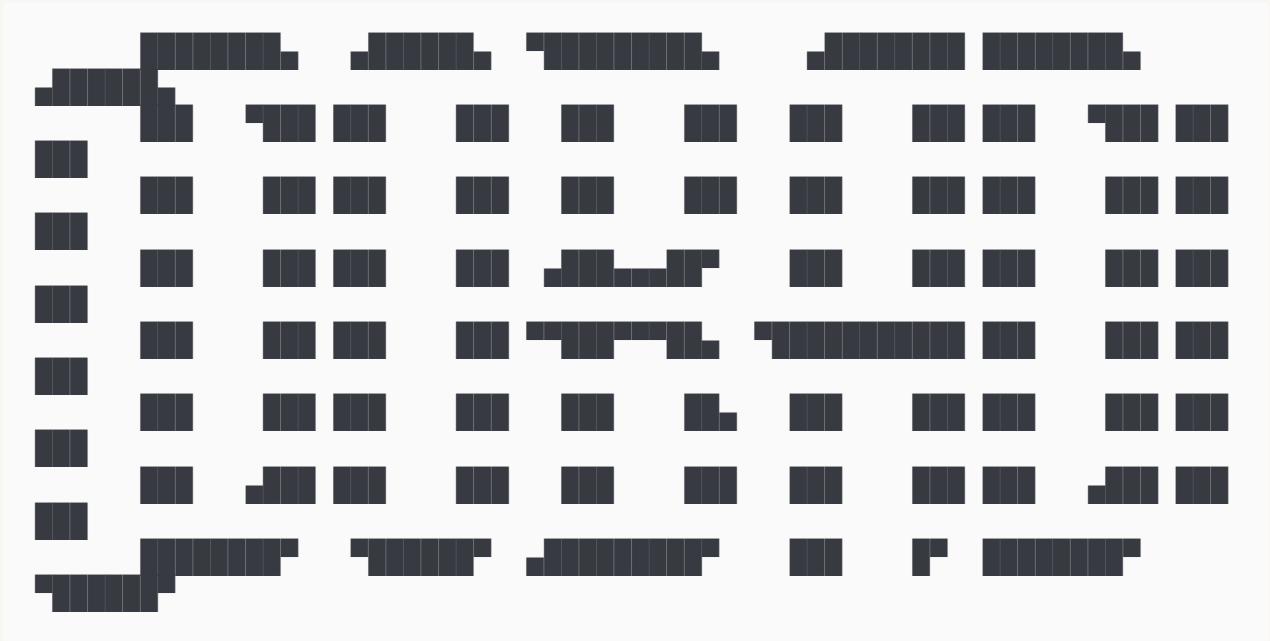


# Index LVL 2

---



---

## Tema 0: Introducción e historia

- Dos grandes revoluciones en la física en el SXX: QM y GR.
  - Al juntarlas se desarrolla la QED:
- 

## 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

## 2.2 Cuantización del campo electromagnético

- Campo electromagnético clásico
- Campo electromagnético en una cavidad
- Cuantización

## 2.3 Emisión y absorción de fotones por átomos

- Estado estacionario
- Base de Estados
- Absorción y Emisión de un fotón

## 2.4 Teoría de perturbaciones dependientes del tiempo

- Hamiltoniano de interacción
- Elementos de Matriz
- Aplicaciones: Emisión espontánea

---

# 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.

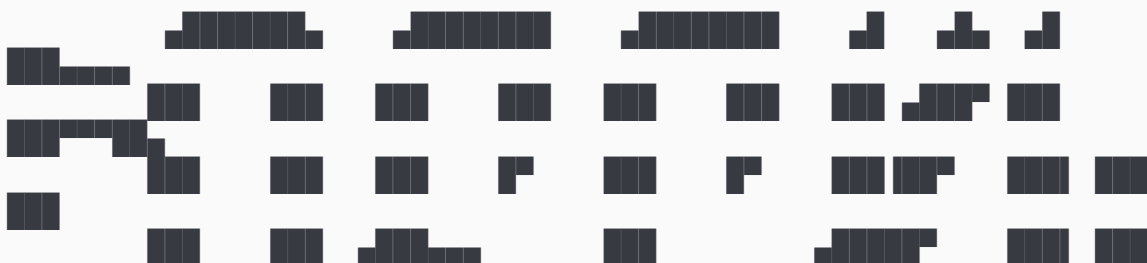
- Campos fermiónicos libres

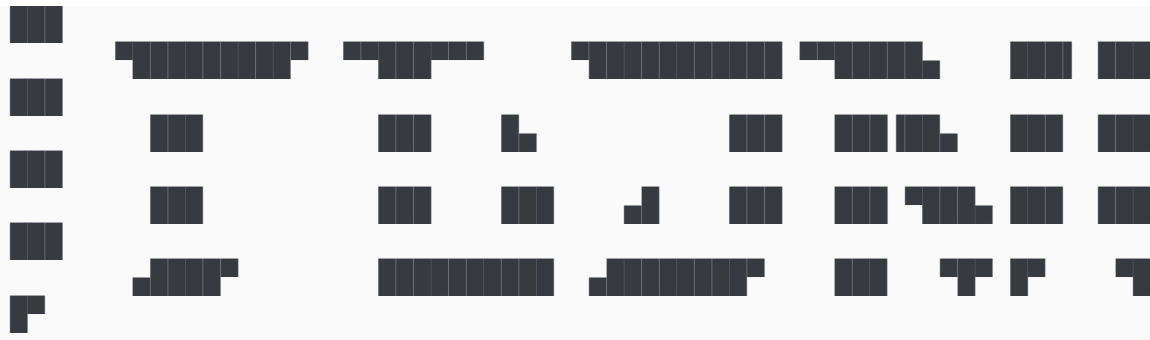
## 5.1 Cuantización canónica

- 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
- 





---

## Capitulo 1: Introducción: Producción por pares en la aniquilación $e^-e^+$

---

## Capitulo 2: El campo de Klein-Gordon

### 2.1 La necesidad del punto de vista de Campos

### 2.2 Elementos de la teoría clásica de Campos

- Teoría de campos lagrangiana
- Teoría de campos hamiltoniana
- Teorema de Noether

### 2.3 El campo de Klein-Gordon como osciladores armónicos

### 2.4 El campo de Klein-Gordon en el espaciotiempo

- Causalidad: El propagador de Klein-Gordon
  - Creación de partículas por una fuente clásica
-



# Capítulo 3: El campo de Dirac

## 3.1 Invariancia Lorentz de las ecuaciones de Onda

## 3.2 La ecuación de Dirac

- Espinores de Weyl

## 3.3 Soluciones de partículas libres de la ecuación de Dirac

- Suma de espines

## 3.4 Matrices de Dirac y campos de Dirac bilineales

## 3.5 Cuantización del campo de Dirac

- Espín y estadística: El propagador de Dirac

## 3.6 Simetrías discretas de la teoría de Dirac

- Paridad, inversión temporal y conjugación de carga

---

# Capítulo 4: Campos en interacción y diagramas de Feynman

## 4.1 Teoría de perturbaciones: Filosofía y ejemplos

## 4.2 Expansión perturbativa de las funciones de correlación

## 4.3 Teorema de Wick

## 4.4 Diagramas de Feynman

## 4.5 Sección eficaz y la matriz S

## 4.6 Calculando los elementos de matriz de S con diagramas de Feynman

## 4.7 Reglas de Feynman para Fermiones

- Teoría de Yukawa

## 4.8 Reglas de Feynman para electrodinámica cuántica

- El potencial de Coulomb
- 

# Capítulo 5: Procesos elementales en electrodinámica cuántica

## 5.1 $e^+ e^- \rightarrow \mu^+ \mu^-$ : Introducción

- Trazas
- Sección eficaz no polarizada
- 

$$e^+ e^- \rightarrow \text{Hadrones}$$

## 5.2 $e^+ e^- \rightarrow \mu^+ \mu^-$ : Helicidad

## 5.3 $e^+ e^- \rightarrow \mu^+ \mu^-$ : Límite no relativista

- Estados acoplados
- Producción y decaimientos de vector meson

## 5.4 Simetría cruzada

- Escattering electrón-muón
- Variables de Mandelstam

## 5.5 Escattering Compton

- Suma de polarizaciones
- La fórmula de Klein-Nishina
- Comportamiento a altas energías
- Aniquilación por pares a fotones



## Capítulo 1: Física de partículas y relatividad especial

### 1.1 Relatividad especial

### 1.2 Un repaso rápido a la física de partículas

1.3 Partículas elementales

1.4 El mecanismo de Higgs

1.5 Gran unificación

1.6 Supersimetría

1.7 Teoría de cuerdas

---

## Capítulo 2: Teoría de campos lagrangiana

2.1 Mecánica lagrangiana básica

2.2 La acción y las ecuaciones de movimiento

2.3 Momento canónico y el Hamiltoniano

2.4 Teoría de campos lagrangiana

2.5 Simetrías y leyes de Conservación

2.6 Corrientes conservadas

2.7 El campo electromagnético

2.8 Transformaciones Gauge

---

## Capitulo 3: Una Introducción a la teoría de grupos

### 3.1 Representación de un grupo

### 3.2 Parámetros de un grupo

### 3.3 Grupos de Lie

### 3.4 El grupo de rotaciones

### 3.5 Representando a las rotaciones

### 3.6 $SO(N)$

### 3.7 Grupos unitarios

### 3.8 Operadores de Casimir

---

## Capitulo 4: Simetrías discretas y números cuánticos

### 4.1 Números cuánticos aditivos y multiplicativos

### 4.2 Paridad

### 4.3 Conjugación de la carga

## 4.4 Violación de CP

## 4.5 El Teorema CPT

---

# Capítulo 5: La ecuación de Dirac

## 5.1 El campo de Dirac clásico

## 5.2 Añadiendo la cuántica

## 5.3 La forma de las matrices de Dirac

## 5.4 Algunas propiedades tediosas de las matrices de Dirac

## 5.5 Operadores autoadjuntos y propiedades de transformación

## 5.6 Notación *slash*

## 5.7 Soluciones de la ecuación de Dirac

## 5.8 Soluciones en el espacio libre (vacío)

## 5.9 Boosts, rotaciones y helicidad

## 5.10 Espinores de Weyl

---

# Capítulo 6: Campos escalares

6.1 Llegando a la ecuación de Klein-Gordon

6.2 Reinterpretando el campo

6.3 Cuantización de campos escalares

6.4 Estados en QFT

6.5 Descomposición en frecuencias positivas y negativas

6.6 Operadores número

6.7 Normalización de los estados

6.8 Estadística de Bose-Einstein

6.9 Productos normales y ordenación temporal

6.10 El campo escalar complejo

---

# Capítulo 7: Las reglas de Feynman

7.1 La representación de interacción

7.2 Teoría de perturbaciones

## 7.3 Lo básico de las reglas de Feynman

## 7.4 Calculando amplitudes

## 7.5 Pasos para construir una amplitud

## 7.6 Tasa de descomposición y tiempos de vida

---

# Capítulo 8: Electrodinámica cuántica

## 8.1 Otro repaso de la electrodinámica clásica

## 8.2 El campo electromagnético cuantizado

## 8.3 Invariancia gauge y QED

## 8.4 Reglas de Feynman para QED

---

