



Universitat Autònoma de Barcelona

**TITULACIÓ:** Física

**NOM DE L'ASSIGNATURA:** 25160 Teoria quàntica de camps

**CURS:** 2002/2003

**CRÈDITS:** 6

## OBJECTIUS

L'assignatura és una introducció a les teories quàntiques de camps relativistes, que constitueixen el llenguatge matemàtic que usa la física de partícules elementals. Es pretén donar una visió general dels seus aspectes més fonamentals: creació i anihilació de partícules; teoria de pertorbacions; renormalització. Es pretén també que s'arribin a conèixer els aspectes bàsics de l'Electrodinàmica Quàntica (QED), i capacitat a l'alumne per a calcular processos elementals a nivell arbre, no només de QED sinó també d'altres models o teories (Electrodinàmica escalar,  $\lambda\phi^4$ , Model Estàndard, etc.), i tenir algunes nocions molt elementals de què són correccions radiatives. Finalment, l'assignatura pretén introduir el concepte de teories de *gauge* i donar alguns aspectes de la seva quantització covariant (fixació del *gauge*, espais amb mètrica indefinida, identitats de Ward, etc.).

## PROGRAMA DE TEORIA

### 1. PRELIMINARS

#### 1. Camps relativistes/Mecànica quàntica relativista

-Grup de Lorentz. Covariància. –Camp de Klein-Gordon. –Camp de Direc. Covariància de l'equació de Direc. Matriu de Dirac. Representació de rotacions i *boosts*. *Spinor* adjunt.  $\gamma_5$ . –Camp de Proca-Maxwell. –Camp electromagnètic.

#### 2. Solucions en forma d'ones planes

- Camp de Klein-Gordon. –Camp de Dirac. *Spinors* u i v. "Diracologia". –Camp electromagnètic. Problemes amb l'invariància *gauge*.

#### 3. Formulació hamiltoniana de la teoria clàssica de camps

- Densitat hamiltoniana i hamiltonià. –Equacions d'hamilton. –Conservació de l'energia. –Derivada funcional. –Parèntesis de Poisson.

#### 4. Teorema de Noether

- Tensor d'energia-impuls. Moment lineal. –Tensor Moment angular. –Simetries internes. Simetria U (1) i conservació de la càrrega.

### 2. CAMPS QUÀNTICS LLIURES

#### 1. Quantització del camp de Klein-Gordon

- Commutadors a temps iguals. Operadors de creació i anihilació. –Operador hamiltonià. Ordenació normal. Operador número. El buit. –Espai de Fock. Estats d'una partícula. Connexió amb mecànica quàntica. Estats de N partícules. Consistència/Covariància de la teoria quàntica.

#### 2. Quantització del camp de Dirac

- Anticommutadors a temps iguals. Teorema de *spin*-estadística. Operadors de creació i anihilació. – Operador hamiltonià. Ordenació normal per fermions. Operador número. El buit. Espai de Fock. Estats d'una partícula (*spin* i càrrega del electró). Estats de N partícules. Principi d'exclusió.

### 3. Quantització del camp electromagnètic (Gupta-Bleuler).

- Terme de fixació de *gauge*. Quantització. Estats de norma negativa. –El hamiltonià del camp de Maxwell. –Subespai físic. Independència del grau de llibertat no físics per a les magnituds observables.

## 3. CAMPS QUÀNTICS EN INTERACCIÓ: NIVELL ARBRE

### 1. Introducció

- QED. El Lagrangià. QED com una teoria de *gauge*. Equacions d'evolució. Regles de commutació/anticommutació. – Imatges de Schrödinger, Heisenberg i de interacció.

### 2. Matriu S i Teoria de pertorbacions

L'espectre d'una teoria en interacció. –Estats *in* i *out*. La matriu S. –Funcions de Green. –Fórmula de Gell-Mann Low. –Formalisme LSZ. Fórmula de reducció. La massa física i la renormalització de la funció d'ona.

### 3. Diagrames de Dyson y Feynman: Regles de Feynman per a la QED

- Teorema de Wick. Ordenació normal, temporal, mixta. Contracció. –Propagadors de Feynman. – Diagrames de Dyson. – Diagrames de Feynman (exemple: scattering Compton).

### 4. Secció eficaç i l'amplada de desintegració

- Fórmula aurea de la secció eficaç. –Fórmula de l'amplada de desintegració. –Aplicació: *scattering* Compton.

## 4. CORRECCIONS RADIATIVES: UN "LOOP"

### 1. Divergències UV

- Funcions de Green 1PI. –Comptatge de potències. –Funcions de Green 1PI divergents UV: Autoenergia de l'electró  $\Sigma(p)$ . Polarització del buit  $\Pi_{\mu\nu}(q)$ . La funció vèrtex  $\Gamma(p,p')$ . Transversalitat de  $\Pi_{\mu\nu}(q)$ . –Identitat de Ward.

### 2. Regularització dimensional

- Rotació de Wick. –Parametrizació de Feynman. –Càlcul d'integrals en D dimensions. El volum de l'esfera D-dimensional. Singularitats de la funció  $\Gamma$  d'Euler. –Àlgebra de Dirac en D dimensions. Càlculs de  $\Pi_{\mu\nu}(q)$ ,  $\Sigma(p)$ , i  $\Gamma(p,p')$ .

### 3. Renormalització: Esquema On-shell

- El lagrangià de contratermes. –Funcions de Green renormalitzades. –Renormalització de les funcions d'ona. Les constants de renormalització  $Z_2$  i  $Z_3$  –Renormalització de la massa de l'electró. – Renormalització de la càrrega elèctrica.

### 4. El moment magnètic anòmal de l'electró, g-2

- Els factors de forma  $F_1(q)$  i  $F_2(q)$  i la seva interpretació física. –Càlcul de g-2.

## BIBLIOGRAFIA

### • Bàsica

✓ *Llibres de teoria*

1. F. Mandl, G. Shaw. *Quantum field theory*. John Wiley & Sons
2. M.E. Peskin, D.V. Schroeder. *An introduction to quantum field theory*. Addison-Wesley.
3. P. Ramond. *Field Theory: a modern primer*. Addison-Wesley
4. J.D. Bjorken, S.D. Drell. *Relativistic quantum mechanics*. McGraw-Hill.
5. J.D. Bjorken, S.D. Drell. *Relativistic quantum fields*. McGraw-Hill.
6. C. Itzykson, J.-B. Zuber. *Quantum field theory*. McGraw-Hill
7. J.C. Collins. *Renormalization*. Cambridge University Press.