



## FITXA IDENTIFICATIVA

### DADES DE L'ASSIGNATURA

**Codi:** 43292  
**Nom:** Teoria quàntica de camps I  
**Cicle:** Màster Universitari Oficial  
**Crèdits ECTS:** 6  
**Curs acadèmic:** 2025-26

### TITULACIONS

Titulació	Centre	Curs	Període
2150 - Màster Universitari en Física Avançada	Facultat de Física	1	Primer quadrimestre

### MATÈRIES

Titulació	Matèria	Caràcter
2150 - Màster Universitari en Física Avançada	Introducció a la física teòrica	OPTATIVA

### COORDINACIÓ

CIERI - LEANDRO JAVIER

## RESUM

En l'assignatura **Teoria quàntica de camps I** els estudiants s'endinsaran en els fonaments del formalisme matemàtic essencial per a l'estudi de la física de partícules. Explorarem els camps de Klein-Gordon, Dirac, fotó i Proca, i aprendrem a calcular seccions eficaces i amplituds de desintegració utilitzant les poderoses regles de Feynman.

A més d'examinar els processos elementals de l'electrodinàmica quàntica (QED) i el concepte de renormalització, els estudiants adquiriran l'habilitat de calcular totes les amplituds de dispersió disponibles en QED a ordre més baix en la teoria de perturbacions per a processos  $2 \rightarrow 2$ , entre altres. Aquest curs proporcionarà una base sòlida per a comprendre les interaccions fonamentals de les partícules elementals, el crucial concepte de simetria de gauge i les seues profundes implicacions en la física moderna.

## CONEIXEMENTS PREVIS

### RELACIÓ AMB ALTRES ASSIGNATURES DE LA MATEIXA TITULACIÓ

No s'ha especificat restriccions de matrícula amb altres assignatures del pla d'estudis.

### ALTRES TIPUS DE REQUISITS



## COMPETÈNCIES / RESULTATS D' APRENTATGE

-

Analitzar una situació complexa extraient quals són les quantitats físiques rellevants i ser capaç de reduir-la a un model parametritzat.

Avaluar la validesa d'un model o teoria proposat per altres membres de la comunitat científica.

Conocer la fenomenología de las partículas elementales. Conocer cómo se clasifican las partículas elementales y las interacciones fundamentales. Comprender la relación entre el microcosmos y la formación del macrocosmos.

Conocer los dispositivos experimentales. Conocer la experimentación con la materia elemental y manejar los resultados.

Exposar i defensar públicament el desenvolupament, resultats i conclusions del seu treball en l'àrea de la Física.

Ostentar la preparació para tomar decisiones correctas en la elección de tareas y en su ordenación temporal en su labor investigadora y/o profesional.

Que els estudiants sàpiguem aplicar els coneixements adquirits i la seua capacitat de resolució de problemes en entorns nous o poc coneguts dins de contextos més amplis (o multidisciplinaris) relacionats amb la seua àrea d'estudi.

Que els estudiants sàpiguem comunicar les conclusions (i els coneixements i les raons últimes que les sustenten) a públics especialitzats i no especialitzats d'una manera clara i sense ambigüitats.

Que els estudiants siguen capaços d'integrar coneixements i afrontar la complexitat de formular judicis a partir d'una informació que, sent incompleta o limitada, incloga reflexions sobre les responsabilitats socials i ètiques vinculades a l'aplicació dels seus coneixements i judicis.

Ser capaz de gestionar información de distintas fuentes bibliográficas especializadas utilizando principalmente bases de datos y publicaciones internacionales en lengua inglesa.

## DESCRIPCIÓ DE CONTINGUTS

### 1. Introducció: la necessitat d'una teoria quàntica dels camps

Presentarem les motivacions i necessitats d'una teoria quàntica de camps relativista i els corresponents aspectes històrics.



## 2. Camps clàssics de Klein-Gordon i Dirac

Aprendrem a construir les equacions dels camps de Klein-Gordon i Dirac, essencials per a descriure partícules relativistes, i entendrem les seues propietats fonamentals a través dels seus lagrangians, corrents i càrregues conservades.

## 3. La simetria de gauge en teories abelianes i no-abelianes

La simetria de gauge és un principi fonamental en la física de partícules, que subjau a les interaccions fonamentals de la natura. Discutirem el principi fonamental de gauge, com sorgeixen els termes d'interacció i com emergeixen naturalment els camps de gauge, en el nostre cas el fotó. També abordarem com es modifica l'escenari en teories no abelianes de  $SU(N)$  i brindarem una breu ressenya històrica.

## 4. Quantització del camp de Klein-Gordon

En aquest capítol, explorarem la quantització del camp lliure de Klein-Gordon, partint de la seua corresponent densitat lagrangiana. Aprendrem a promoure les coordenades a operadors en l'espai de Hilbert i detallarem el procés de segona quantització o quantització canònica. Utilitzant l'oscil·lador harmònic com a introducció, definirem la càrrega d'un estat quàntic i l'expressarem en termes dels seus corresponents operadors quàntics. Finalment, discutirem els primers indicis de la necessitat de renormalització en la teoria quàntica de camps.

## 5. La quantització del camp de Dirac

Seguint una estructura similar a la utilitzada per al camp de Klein-Gordon, abordarem la quantització del camp de Dirac. Ens detindrem especialment en les diferències crucials en les relacions de commutació dels camps, que distingeixen aquest cas del de Klein-Gordon.



## 6. Quantització dels camps de fotó i de Maxwell-Proca: Desvelant graus de llibertat i elecció de gauge

En aquest capítol crucial, explorarem l'apassionant quantització dels camps de fotó i de Maxwell-Proca. Aprendre com l'expansió en ones planes, juntament amb una elecció estratègica de gauge, ens permet desvelar els misteris d'aquestes partícules fonamentals.

Abordarem de manera directa els desafiaments inherents a la quantització d'aquests camps, incloent-hi la identificació dels graus de llibertat físics i espuris. Veurem com l'elecció de gauge influeix en aquest procés i com l'enginyosa solució de Fermi ens ajuda a superar un dels obstacles més importants.

Finalment, culminarem el nostre viatge amb el poderós mètode de quantització de Gupta-Bleuler. Analitzarem detalladament com la imposició de gauge es transforma en el context de camps que han sigut sotmesos a la segona quantització.

## 7. Camps Quàntics Interactuants

Explorarem els camps quàntics en interacció, analitzant com es modifiquen les regles de quantització i les diferents representacions en presència d'interaccions. Introduïrem la matriu d'evolució i els coneixements essencials per a comprendre la matriu S, peça clau en la teoria de dispersió.

## 8. La matriu S i el teorema de Wick

Aquest material explora la matriu S, una eina clau en teoria quàntica de camps per a calcular probabilitats de transició, centrant-se en la seua construcció perturbativa mitjançant l'expansió en sèrie de Dyson i el teorema de Wick. A més, es presenta un exemple concret en la teoria  $\psi\psi$ , mostrant com obtenir els primers termes de la matriu S, deduir les regles de Feynman i construir els diagrames corresponents.

## 9. Regles de Feynman en l'electrodinàmica quàntica (QED): Desvetlant interaccions fonamentals

En aquest capítol crucial, explorarem les regles de Feynman, una eina poderosa per a descriure i calcular processos d'interacció en l'electrodinàmica quàntica (QED). Aprendre a identificar i aplicar aquestes regles per a construir diagrames de Feynman, representacions visuals intuïtives de les interaccions entre partícules carregades i fotons.



Abordarem la noció fonamental del propagador en QED, comparant-lo amb el propagador en la teoria de Klein-Gordon per a ressaltar les diferències clau. A més, aprofundirem en el concepte de causalitat en la teoria quàntica de camps, examinant com les regles de Feynman garanteixen la consistència amb la relativitat especial i l'estructura causal de l'espai-temps.

## 10. Càlcul d'Amplituds i Seccions Eficaces en QED: De Diagrames a Resultats Físics

En aquest apartat, portarem la teoria a la pràctica calculant amplituds de dispersió a primer ordre en QED per a processos de dues partícules inicials i dues finals. Aprendre a dominar les regles de creuament, que ens permeten connectar partícules entre estats inicial i final, i a explotar simetries per a simplificar càlculs.

A més, descobrirem com obtenir elements de matriu al quadrat directament dels diagrames de Feynman, agilitzant el procés. També ens endinsarem en el càlcul d'un element de matriu a un loop, una introducció clau als conceptes de renormalització en QED.

## 11. Introducció a la renormalització

Aquest capítol explora el concepte de renormalització en la teoria quàntica de camps (QFT), centrant-se en l'electrodinàmica quàntica (QED) i la cromodinàmica quàntica (QCD). La renormalització és crucial per a gestionar les divergències que sorgeixen en els càlculs perturbatius de QFT a causa de les contribucions d'altres energies o curtes distàncies.

### VOLUM DE TREBALL (HORES)

#### ACTIVITATS PRESENCIALS

Activitat	Hores
Teoria	40,00
Seminari	3,00
Altres activitats	3,00
<b>Total hores</b>	<b>46,00</b>

#### ACTIVITATS NO PRESENCIALS

Activitat	Hores
Assistència a altres activitats	0,00
Elaboració de treballs individuals o en grup	21,00
Estudi i treball autònom	0,00



Preparació de classes	43,00
Preparació d'activitats d'avaluació	0,00
Resolució de casos pràctics	40,00
<b>Total hores</b>	<b>104,00</b>

## METODOLOGIA DOCENT

MD1 - Classes teòriques lliçó magistral participativa.

MD2 - Discussió d'articles (lectures).

MD3 - Resolució de problemes.

MD4 - Problemes

MD8 - Conferències d'experts

## AVALUACIÓ

L'avaluació del curs es basa en:

- Un examen escrit basat en les classes teòriques i les sessions pràctiques, que cobrirà els resultats d'aprenentatge i els objectius específics del curs (70%).

- Avaluació contínua de l'estudiant durant les classes de teoria i pràctica, incloent-hi la participació, la realització d'exercicis en classe i la resolució de problemes proposats (30%). La qualificació final s'aprova amb un 5/10, i es requereix una nota mínima de 4.0/10 en l'examen per a poder fer mitjana amb la qualificació de l'avaluació contínua.

- No hi ha diferències entre la primera i la segona convocatòria de l'examen final. Cal tindre en compte que tots els exercicis escrits s'han de presentar abans de la primera convocatòria de l'examen final.

## BIBLIOGRAFIA

- M.E. Peskin and D.V. Schroeder, "An Introduction to Quantum Field Theory", 1995.
- C. Itzykson and J.B. Zuber, "Quantum Field Theory", McGraw-Hill, 1980.
- J.D. Bjorken and S.D. Drell, "Relativistic Quantum Fields", McGraw-Hill, 1965.



- S. Weinberg, "The Quantum Theory of Fields", Cambridge University Press, 1995.
- Francis Halzen and Alan D. Martin, "Quarks and Leptons: An Introductory Course in Modern Particle Physics", Wiley; First Edition (16/01/1991).
- David Griffiths, "Introduction to Elementary Particles", Wiley-VCH; 2nd edition (October 2008).
- J. Reinhardt and Walter Greiner, "Field Quantization", Springer; First Edition (01/01/1996).