



FITXA IDENTIFICATIVA

DADES DE L'ASSIGNATURA

Codi: 43292
Nom: Teoria quàntica de camps I
Cicle: Màster Universitari Oficial
Crèdits ECTS: 6
Curs acadèmic: 2026-27

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 pertorbacions 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****2150 - Màster Universitari en Física Avançada**

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
Total hores	46,00

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
Total hores	104,00

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).