



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física Teórica
Título:	Sección eficaz de dispersion inelastica profunda semi-inclusiva
Title:	Cross-section of semi-inclusive deep-inelastic scattering
Tutor/es:	Alexey Vladimirov
E-mail tutor/es:	alexeyvl@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

La dispersión profundamente inelástica semi-inclusiva es uno de los procesos más importantes de la física de altas energías, y se utiliza para explorar la estructura interna del nucleón en términos de las distribuciones de quarks y gluones. Tiene una estructura angular rica que proporciona acceso a diferentes propiedades del nucleón. En el TFG se dedica a la derivación de la sección eficaz en el régimen de momento transversal pequeño, y a la descripción de las propiedades de las distribuciones de quarks correspondientes.

Metodología:

El método principal es el teorema de factorización de la QCD, que es válido a altas energías. Permite relacionar observables (form-factores, sección transversal, etc.) con distribuciones elementales de partones. Aprenderás a calcular la sección transversal, resolver su cinemática y varios elementos de los diagramas de Feynman. La mayor parte del trabajo se puede hacer a mano, pero también se puede realizar con sistemas algebraicos computacionales.

Bibliografía:

- [1] A.Bacchetta, M.Diehl, et al, "Semi-inclusive deep inelastic scattering at small transverse momentum", JHEP 02 (2007) 093, e-Print: hep-ph/0611265 [hep-ph]
- [2] J.Collins, "Foundations of Perturbative QCD" Camb.Monogr.Part.Phys.Nucl.Phys.Cosmol. 32 (2011) 1-624



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física Teórica
Título:	Métodos de física teórica para el estudio de scattering a altas energías
Title:	Theoretical Physics methods for high energy scattering
Tutor/es:	Ignazio Scimemi
E-mail tutor/es:	ignazios@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Este trabajo está dedicado al estudio de algunos métodos utilizados en física teórica para el estudio de las partículas elementales. El objetivo es preparar al alumno en unos métodos de cálculo y al estudio de teorías efectivas. En particular serán objeto de estudio el método de las “scattering amplitudes”, utilizado para describir la producción de jets y el “background field method”, utilizado para el cálculo de la función beta de QCD y el desarrollo de varias teorías efectivas.

Metodología:

El trabajo necesita una buena preparación en teoría de campos. A partir de allí se va estudiando textos/artículos donde se exponen los conceptos y los métodos de cálculo. El trabajo consiste en reproducir algunos resultados de una forma no trivial o bien elaborar sobre las nociones aprendidas. Se podrán desarrollar pequeños códigos para ilustrar a través de gráficos los resultados obtenidos.

Bibliografía:

Scattering Amplitudes; H. Elvang, Yu-tin Huang, e-Print: 1308.1697 [hep-th]

Introduction to the Background Field Method; L.F. Abbott, Acta Phys.Polon.B 13 (1982) 33 y Nucl.Phys.B 185 (1981) 189-203.

Transverse momentum dependent operator expansion at next-to-leading power; A. Vladimirov, V. Moos, I. Scimemi, JHEP 01 (2022) 110

QCD: Renormalization for the Practitioner, Pascual, P.; Tarrach, R. ISBN 10: 3662204126 ISBN 13: 9783662204122, Editorial: Springer, 2014

An Introduction To Quantum Field Theory Peskin, Michael E., ISBN 10: 0367320568 ISBN 13: 9780367320560, Editorial: CRC Press, 2019

An Introduction to Quantum Field Theory Serman, George, Cambridge University Press 1993; ISBN-10 : 0521311322, ISBN-13 : 978-0521311328.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física Teórica
Título:	Introducción al estudio de las estructuras hadrónicas
Title:	Introduction to the study of hadron structure
Tutor/es:	Ignazio Scimemi
E-mail tutor/es:	ignazios@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Las distribuciones de momento y spin de quarks y gluones dentro de los hadrones son elementos esenciales para la física de altas energías en aceleradores de partículas. Con este trabajo vamos a introducir unos conceptos como las distribuciones de quarks y gluones en una dimensión (PDF) o 3 dimensiones (TMD, GTMD, etc), los jets, los métodos de cálculos de amplitudes de probabilidad para física de altas energías, las teorías efectivas que permiten escribir las probabilidades (dadas por secciones eficaces). Entre estas últimas las más adecuadas es SCET (Soft Collinear Effective Theory).

Metodología:

El trabajo necesita una buena preparación en teoría de campos. A partir de allí se va estudiando textos/artículos donde se exponen los conceptos y métodos de las teorías efectivas o los métodos de cálculo. El trabajo consiste en reproducir algunos resultados de una forma no trivial o bien elaborar sobre las nociones aprendidas. Se podrán desarrollar pequeños códigos para ilustrar a través de gráficos los resultados obtenidos.

Bibliografía:

Introduction to Soft-Collinear Effective Theory, Thomas Becher, A. Broggio, A. Ferroglia, Lect.Notes Phys. 896 (2015) pp.1-206, e-Print: 1410.1892 [hep-ph]

Lecture notes on Soft-Collinear Effective Theory, I. W. Stewart, https://ocw.mit.edu/courses/physics/8-851-effective-field-theory-spring-2013/lecture-notes/MIT8_851S13_scetnotes.pdf

Transverse spin physics V. Barone, P. Ratcliff, 2003 by World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. , ISBN 981-238-101-5.

A short review on recent developments in TMD factorization and implementation,

I. Scimemi, Adv. High Energy Phys. 2019 (2019) 3142510, e-Print:1901.08398 [hep-ph]

QCD: Renormalization for the Practitioner, Pascual, P.; Tarrach, R. ISBN 10: 3662204126 ISBN 13: 9783662204122, Editorial: Springer, 2014



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física Teórica
Título:	Fenomenología de la dispersión de alta energía
Title:	Phenomenology of high-energy scattering
Tutor/es:	Alexey Vladimirov
E-mail tutor/es:	alexeyvl@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Los teoremas de factorización de la QCD proporcionan la descripción de los procesos de dispersión de alta energía en términos de funciones de distribución de partones universales. Estas funciones se parametrizan y determinan a partir de la comparación con los datos experimentales. En este trabajo, se sugiere considerar una reacción de Drell-Yan y determinar la función de distribución de quarks utilizando los datos del LHC y otros experimentos.

Metodología:

El análisis se realiza con el ordenador (se recomiendan conocimientos básicos de programación). Utilizando el código "artemide", desarrollado en la UCM, analizarás los datos y determinarás los parámetros del modelo, así como explorarás la imagen tomográfica del nucleón. Aprenderás los fundamentos del análisis estadístico y de datos, técnicas de propagación de errores y los principales elementos del teorema de factorización de la QCD.

Bibliografía:

[1] Peskin, Schroeder, "An Introduction to quantum field theory", Addison-Wesley , ISBN: 9780201503975

[2] I.Scimemi, A.Vladimirov, "Non-perturbative structure of semi-inclusive deep-inelastic and Drell-Yan scattering at small transverse momentum" JHEP 06 (2020) 137, e-Print: 1912.06532 [hep-ph]



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física Teórica
Título:	QCD en el gauge axial
Title:	QCD in axial gauge
Tutor/es:	Alexey Vladimirov
E-mail tutor/es:	alexeyvl@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

QCD en el gauge axial es una formulación de la cromodinámica cuántica (QCD) en la que se elige una condición de gauge axial para simplificar los cálculos. El presente trabajo tiene como objetivo derivar el Lagrangiano de la QCD en el marco del gauge axial, mediante la aplicación del método de Faddeev-Popov. Asimismo, se pretende obtener las reglas de Feynman asociadas a esta formulación, con el fin de facilitar el análisis perturbativo de la teoría en dicho gauge.

Metodología:

El método principal empleado es el de la integral funcional. Los fundamentos de este enfoque serán estudiados a lo largo del Trabajo de Fin de Grado. Adicionalmente, el desarrollo del trabajo requiere un análisis de ecuaciones diferenciales. En términos generales, se trata de un estudio teórico en el que se recomiendan conocimientos básicos de teorías de campos.

Bibliografía:

- [1] Peskin, Schroeder, "An Introduction to quantum field theory", Addison-Wesley , ISBN: 9780201503975
- [2] J. Zinn-Justin, Quantum Field Theory and Critical Phenomena, Oxford University Press, 2021



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física Teórica
Título:	Entrelazamiento generado por dispersión de partículas relativistas
Title:	Entanglement generated by the scattering of relativistic particles
Tutor/es:	Carmelo Pérez Martín
E-mail tutor/es:	carmelo@fis.ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Entender, mediante la realización de cálculos explícitos, el entrelazamiento generado mediante la dispersión de partículas elementales relativistas.

Metodología:

Estudio y realización de cálculos, por parte de la/del alumna/alumno. Tutorías con el profesor

Bibliografía:

- 1) A. Cervera-Lierta, J. I. Latorre, J. Rojo and L. Rottoli, Maximal Entanglement in High Energy Physics, SciPost Phys. 3 (2017) 036.
- 2) S.Fedida and A. Serafini, Tree-level entanglement in Quantum Electrodynamics Phys. Rev. D 107, 116007 (2023).
- 3) C. Nunez, A. Cervera-Lierta and J. I. Latorre, Universality of entanglement in gluon dynamics, [arXiv:2504.15353 [hep-th]].
- 4) M. Blasone, S. De Siena, G. Lambiase, C. Matrella and B. Micciola, Entanglement saturation in quantum electrodynamics scattering processes, [Arxiv:2505.06878[quant-ph]]



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física Teórica
Título:	Hamiltonianos no hermíticos y simetría PT
Title:	Non-Hermitian Hamiltonians and PT symmetry
Tutor/es:	Juan José Sanz Cillero
E-mail tutor/es:	jjsanzcillero@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

En la mayoría de los cursos introductorios de mecánica cuántica, se enseña que el operador hamiltoniano debe ser Hermítico para que los niveles de energía sean reales y la teoría sea unitaria (es decir, que conserve la probabilidad).

Sin embargo, en años recientes se ha observado que esta condición matemática puede sustituirse por una exigencia más física: la simetría bajo reflexión espacio-temporal (simetría PT).

En este trabajo se plantea estudiar parte de la bibliografía en torno a este aspecto (proporcionada en una sección posterior), con la intención de reproducir y explorar algunos de sus resultados básicos.

Al implementar esta visión, se debería observar que no se pierden las características fundamentales de la teoría cuántica. No obstante, los hamiltonianos no Hermíticos pero con simetría PT pueden presentar nuevos comportamientos inusuales e inesperados. Este trabajo revisará cómo es posible prescindir del requisito de hermiticidad y analiza las propiedades de ciertas teorías cuánticas basadas en hamiltonianos PT-simétricos no Hermíticos.

Si un avance adecuado del trabajo lo permite se plantea incluso la posibilidad de estudiar trabajos que implementan estos conceptos de mecánica cuántica en teoría cuántica de campos.

Metodología:

- Se hará un estudio bibliográfico siguiendo las referencias básicas y continuando el estudio a partir de ellas.
- Se reproducirán algunos cálculos básicos y se hará uso de software de cálculo simbólico para los análisis más complejos.
- Se tendrán reuniones presenciales periódicas entre el tutor y el alumno para la discusión y resolución de dudas.

Bibliografía:

- * "Introduction to PT-Symmetric Quantum Theory", Carl M. Bender, Contemp.Phys. 46 (2005) 277-292 ; quant-ph/0501052 [quant-ph].
- * "No-ghost theorem for the fourth-order derivative Pais-Uhlenbeck oscillator model", Carl M. Bender, Philip D. Mannheim, Phys.Rev.Lett. 100 (2008) 110402 ; 0706.0207 [hep-th].
- * "Gauge invariance and the Englert-Brout-Higgs mechanism in non-Hermitian field theories", Jean Alexandre, John Ellis, Peter Millington, Dries Seynaeve, Phys.Rev.D 99 (2019) 7, 075024 ; 1808.00944 [hep-th].



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física Teórica
Título:	Mínima masa de los ovillos en teorías con invariancias de recalibración
Title:	Minimum glueball masses in gauge-invariant theories
Tutor/es:	Felipe J. Llanes Estrada
E-mail tutor/es:	fllanes@fis.ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Comprender la invariancia de escala en teorías clásicas de campos (como la electrodinámica), e igualmente su rotura en las teorías cuánticas de campos en cuatro dimensiones.

Aprender el concepto de autoenergía y la generación espontánea de masa. Entender las ecuaciones de estado ligado entre dos o más bosones de calibración ("gluones") y la formación de compuestos.

Explorar heurísticamente los espectros de teorías confinantes y no confinantes del color.

Demostrar nociones de cálculo numérico, dominio de las asignaturas relevantes del grado y las competencias transversales propias del trabajo de fin de grado.

Metodología:

El alumno(a) estudiará libros de texto y trabajos teóricos sobre la invariancia de escala, su rotura en teorías cuánticas y la diferencia entre teorías en fases apantalladas tipo Debye y confinantes. A continuación recibirá un programa en Fortran ya preparado que calcula masas de estados ligados en modelos de estas últimas confinantes, para dos y tres cuerpos. Repasará la sensibilidad al cambio de parámetros numéricos en el programa y del grupo de color de la teoría de recalibración. Finalmente, relacionará la autoenergía de las partículas individuales con la interacción entre ellas en los estados ligados.

La memoria del trabajo estará escrita en registro académico libre de faltas gramaticales o de ortografía. Asignaturas (orientativamente) más relevantes: Mecánica Cuántica, Campos Cuánticos, Partículas Elementales, Electrodinámica Clásica, Física Computacional.

Bibliografía:

- 1) F. Halzen and A.D. Martin, Quarks and Leptons: an introductory course in modern particle physics, John Wiley & Sons 1984 (texto introductorio a la física de partículas).
- 2) I.J.R Aitchison y A.J.G. Hey, Gauge Theories in Particle Physics: a Practical Introduction, Taylor & Francis 2013 (4ªEd.) (texto introductorio a las teorías de recalibración).
- 3) A. Szczepaniak y otros, Glueball Spectroscopy in a Relativistic Approach to Hadron Structure, Phys.Rev.Lett. 76 (1996) 2011-2014 (cálculos sencillos de ovillos en modelos de QCD).
- 4) Oddballs and a low odderon intercept, F.J.Llanes-Estrada y otros, Phys.Rev.Lett. 96 (2006) 081601 (cálculos con ovillos de tres partículas).
- 5) Trace and Dilatation Anomalies in Gauge Theories, J.C.Collins y otros, Phys.Rev.D 16 (1977) 438-449 (un trabajo clásico sobre la rotura de invariancia de escala en este tipo de teorías).
- 6) An introduction to the Confinement Problem, de J. Greensite Lect.Notes Phys. 821 (2011) 1-211
- 7) The Elements of Style, de William Strunk JR. y E.B. White, Guía para escribir de manera clara y concisa un trabajo universitario.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física Teórica
Título:	Integrabilidad, caos y entrelazamiento en sistemas cuánticos
Title:	Integrability, chaos and entanglement in quantum systems
Tutor/es:	Federico Finkel Morgenstern y Artemio González López
E-mail tutor/es:	ffinkel@ucm.es, artemio@ucm.es
Número de plazas:	2
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

En este trabajo se abordan distintas cuestiones relacionadas con las nociones de integrabilidad, caos y entrelazamiento en sistemas cuánticos. Se procurará adaptar el trabajo propuesto a la formación y los intereses del alumno. Más concretamente, se pretende que el alumno alcance alguno de los siguientes objetivos:

- Estudiar las propiedades fundamentales de los modelos cuánticos de muchos cuerpos de tipo Calogero–Sutherland, y su relación con cadenas de espines con interacciones de largo alcance.
- Aprender los conceptos básicos de la teoría de matrices aleatorias y su aplicación en la determinación del comportamiento integrable/caótico de los sistemas cuánticos.
- Entender la definición de la entropía de entrelazamiento en un sistema cuántico, y evaluarla para alguna cadena de espines sencilla (por ejemplo, el modelo de Heisenberg de tipo XX).

Metodología:

Lectura de capítulos de libros y/o artículos científicos introductorios relacionados con los objetivos propuestos (ver Bibliografía). En algunos casos, se pedirá que el alumno realice algún cálculo, comprobación o simulación utilizando el programa de cálculo simbólico Mathematica.

Bibliografía:

- J.C. Barba, F. Finkel, A. González-López, M.A. Rodríguez, The Berry-Tabor conjecture for spin chains of Haldane-Shastry type, *Europhys. Lett.* 83, 27005 (2008).
- J.A. Carrasco, F. Finkel, A. González-López, M.A. Rodríguez, Supersymmetric spin chains with nonmonotonic dispersion relation: Criticality and entanglement entropy, *Phys. Rev. E* 93, 155154 (2016).
- F. Finkel, A. González-López, Global properties of the spectrum of the Haldane-Shastry spin chain, *Phys. Rev. B* 72, 174411 (2005).
- P.J. Forrester, *Log-gases and Random Matrices*, Princeton University Press, 2010.
- J.I. Latorre, A. Riera, A short review on entanglement in quantum spin systems, *J. Phys. A: Math. Theor.* 42, 504002 (2009).
- M.L. Mehta, *Random Matrices*, Elsevier, 2010.
- M.A. Nielsen, I.L. Chuang, *Quantum Computation and Quantum Information*, 10th anniversary ed., Cambridge University Press, 2010.
- A.P. Polychronakos, The physics and mathematics of Calogero particles, *J. Phys. A* 39, 12793 (2006).
- H.J. Stöckmann, *Quantum Chaos. An Introduction*, Cambridge University Press, 1999.
- B. Sutherland, *Beautiful Models. 70 Years of Exactly Solved Quantum Many-Body Problems*, World Scientific, 2004.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física Teórica
Título:	Métodos dispersivos para la descripción de la interacción pión-pión
Title:	Dispersive methods to study pion-pion interactions
Tutor/es:	Jacobo Ruiz de Elvira Carrascal, Pablo Rabán Mondejar
E-mail tutor/es:	jacobore@ucm.es , praban@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

La dispersión de piones es uno de los procesos más importantes en física hadrónica, ya que, al ser los hadrones más ligeros del espectro, los piones aparecen con frecuencia en los estados finales de muchas reacciones que involucran la interacción fuerte.

Aunque la Cromodinámica Cuántica (QCD) está firmemente establecida como la teoría que describe las interacciones fuertes, su carácter no perturbativo a escalas de energía hadrónica dificulta la realización de cálculos precisos mediante técnicas estándar. Por ello, el estudio del espectro hadrónico requiere herramientas teóricas complementarias, como los métodos dispersivos, que están basados en principios fundamentales como causalidad, unitariedad y la simetría de cruce.

El objetivo de este trabajo es, en primer lugar, profundizar en los conceptos fundamentales de la teoría cuántica de campos y de la física de partículas, e introducir los métodos dispersivos, que permiten analizar las interacciones entre hadrones a bajas energías. En segundo lugar, se aplicarán estas herramientas al estudio de la dispersión pión-pión y, si el tiempo lo permite, al análisis de las resonancias hadrónicas que emergen en dichas interacciones.

Metodología:

El enfoque del trabajo será teórico-práctico. En primer lugar, se llevarán a cabo reuniones periódicas en las que se introducirán las nociones fundamentales del tema y se recomendará bibliografía especializada para profundizar en los aspectos teóricos.

En segundo lugar, se analizará el estado actual del campo mediante la lectura crítica de artículos científicos, y se propondrán diversos problemas y cálculos con el fin de consolidar los conocimientos adquiridos.

Bibliografía:

- M. E. Peskin and D. V. Schroeder, "An Introduction to quantum field theory", Avalon Publishing, 1995.

- A. D. Martin, T. D. Spearman, "Elementary Particle Theory", North-Holland PC, 1970.

- F. Halzen, and A. D. Martin, "Quarks & Leptons: An introductory course in modern particle physics", John Wiley & Sons, 1984.

- H. M. Nussenzveig, "Causality and dispersion relations", Academic Press, 1972.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física Teórica <input type="button" value="v"/>
Título:	Física hadrónica, simetría quiral y el papel de las resonancias térmicas
Title:	Hadron physics, chiral symmetry and the role of thermal resonances
Tutor/es:	Andrea Vioque Rodríguez
E-mail tutor/es:	avioque@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación por expediente <input type="button" value="v"/>

Objetivos:

Este trabajo consiste en una revisión bibliográfica centrada en el estudio de la física de hadrones en condiciones extremas. En Cromodinámica Cuántica (QCD) a altas temperaturas y/o potenciales químicos, se producen cambios de fase con consecuencias observables tanto en experimentos de colisiones de iones pesados como en simulaciones en el retículo. Un ejemplo significativo es la transición de la fase hadrónica a la de un plasma de quarks y gluones fuertemente interactuante.

El objetivo principal de este trabajo es recopilar los resultados más relevantes obtenidos mediante el uso de teorías efectivas, las cuales han demostrado ser exitosas en la descripción de las propiedades de los mesones ligeros en función de la temperatura y del potencial químico, de gran importancia para el análisis del diagrama de fases de QCD. La atención se centrará en los observables sensibles a la restauración de la simetría quiral, en la que los modos hadrónicos más ligeros desempeñan un papel fundamental. Las teorías efectivas empleadas permiten describir de forma adecuada la física en el régimen hadrónico, es decir, por debajo de la transición de fase, y ofrecen un marco útil para interpretar los resultados disponibles en la literatura científica.

Metodología:

Análisis del estado actual del tema a partir de la bibliografía recomendada y de artículos científicos de revisión especializados.

Dentro de este proyecto, el alumno trabajará en la aplicación directa de los conceptos y técnicas impartidas en varias asignaturas obligatorias y de itinerario de grado. En este sentido, para el mejor aprovechamiento del trabajo es altamente recomendable que el alumno esté matriculado en (o haya superado) las asignaturas optativas: campos cuánticos, simetrías y grupos y partículas elementales.

Bibliografía:

- [1] F. Halzen, A.D. Martin, Quarks and Leptons: An Introductory course in modern particle physics, Wiley and Sons 1984.
- [2] J.F. Donoghue, E. Golowich, B.R. Holstein, Dynamics of the Standard Model, Cambridge Monographs on Particle Physics, Nuclear Physics and Cosmology, 1996.
- [3] S. Scherer, Introduction to chiral perturbation theory, Adv.Nucl.Phys. 27 (2003), 277.
- [4] A. Dobado, A. Gómez Nicola, A.L. Maroto, J.R. Peláez, Effective Lagrangians for the Standard Model, Springer Texts and Monographs in Physics, 1997.
- [5] J.I. Kapusta and C. Gale, Finite temperature Field Theory: Principles and Applications, Cambridge Monographs on Mathematical Physics, 1996.
- [6] J. R. Peláez, Phys. Rept. 658, 1 (2016).
- [7] S. Ferreres-Solé, A. Gómez Nicola, A. Vioque-Rodríguez, Role of the thermal $f_0(500)$ in chiral symmetry restoration, Phys.Rev.D 99 (2019) 3, 036018.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física Teórica
Título:	Neutrinos. Oscilaciones, masas, naturaleza y violación de CP
Title:	Neutrinos. Oscillations, masses, nature and CP violation
Tutor/es:	Antonio Dobado González
E-mail tutor/es:	dobado@fis.ucm.es
Número de plazas:	3
Asignación de TFG:	Asignación por expediente

Objetivos:

Obtener una comprensión actualizada de los aspectos más relevantes de la fenomenología de los neutrinos y su descripción teórica.

Metodología:

Revisión de la bibliografía existente y otros recursos de internet.

El TFG puede enfocarse en una de las cuatro características de los neutrinos mencionadas en el título.

Bibliografía:

Lect.Notes Phys. 629 (2004) 169-21441st Internationale Universitaetswochen fur Theoretische Physik (International University School of Theoretical Physics): Flavor Physics (IUTP 41), 169-21, e-Print: hep-ph/0307149 [hep-ph]



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física Teórica
Título:	Simetrías e integrabilidad en sistemas hamiltonianos y ecuaciones diferenciales
Title:	Symmetry and integrability in Hamiltonian systems and differential equations
Tutor/es:	Miguel Ángel Rodríguez González, Piergiulio Tempesta
E-mail tutor/es:	rodrigue@ucm.es, p.tempesta@fis.ucm.es
Número de plazas:	2
Asignación de TFG:	Asignación por expediente

Objetivos:

Las dos opciones de trabajo son:

1. Estudio de sistemas integrables y sus simetrías en mecánica clásica y cuántica.
2. Simetrías de Lie en ecuaciones diferenciales.

Metodología:

Estudio de artículos de introducción al tema.

Estudio de trabajos relativos al problema concreto.

Discusión de los resultados obtenidos y posibles nuevos resultados.

Bibliografía:

- E. G. Kalnins, J. M. Kress, W. Miller Jr., Separation of Variables and Superintegrability, IOP Publishing, Bristol, 2018
- W. Miller Jr, S. Post, P. Winternitz: Classical and quantum superintegrability with applications. J. Phys. A: Math. Theor. **46** 423001 (2013)
- P. J. Olver, Applications of Lie groups to differential equations, Springer 1993.
- M.A. Rodríguez, P. Tempesta: On higher-dimensional superintegrable systems: a new family of classical and quantum Hamiltonian models. J. Phys. A: Math. Theor. **55** 50LT01 (2022)
- Gazizov, R.K., Kasatkin, A.A. and Lukashchuk, S.Y.: Symmetry properties of fractional diffusion equations, Phys. Scr. T136, 014016 (2009).
- F. Tremblay, A.V. Turbiner, P. Winternitz: An infinite family of solvable and integrable quantum systems on a plane. J. Phys. A: Math. Theor. **42** 242001 (2009)