



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2019-20

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica
TÍTULO:	Fotografiando un protón
TITLE:	Picturing a proton
SUPERVISOR/ES:	José Manuel Alarcón Soriano
NÚMERO DE PLAZAS:	5
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/> Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Tanto el protón como el nucleón, conocidos ambos como “nucleones”, son bloques constituyentes de la materia ordinaria. Un mayor conocimiento de sus propiedades es fundamental para un entendimiento más profundo de los mecanismos que dominan las interacciones fundamentales.

Una de dichas propiedades de interés es su estructura electromagnética, de la que se puede obtener información a través de experimentos de interacción electrón-protón o electrón-deuterón.

En este trabajo se pretende utilizar la información extraída de los experimentos electrón-protón, para visualizar como se distribuye la carga electromagnética en el interior de un nucleón, y de esta forma obtener una especie de “fotografía” bidimensional de su distribución de carga. El/la alumno/a aprenderá a buscar la información necesaria para realizar el cálculo, y a relacionar dicha información con la distribución espacial de la carga eléctrica y magnética del nucleón haciendo uso de lo aprendido en la asignatura *Métodos Matemáticos I*.

Cada alumno/a empleará una parametrización diferente para el cálculo de la densidad transversa y podrá entender las principales ventajas e inconvenientes de cada una de ellas.

**METODOLOGÍA:**

Es recomendable haber cursado o estar cursando las asignaturas optativas *Partículas Elementales y Campos cuánticos*.

BIBLIOGRAFÍA:

“An introduction to quantum field theory”. Michael E. Peskin and Daniel V. Schroeder. Addison-Wesley publishing company. ISBN-13: 978-0201503975.

“Quantum Field Theory”. Jean-Bernard Zuber and Claude Izykson. Dover Books on Physics. ISBN-13: 978-0486445687.

“The Quantum Theory of Fields, Volume 1: Foundations”. Steven Weinberg. Cambridge University Press. ISBN-13: 978-0521670531.

“Variable compleja y aplicaciones”. Ruel V. Churchill and James Ward Brown. McGraw-Hill Interamericana de España S.L. ISBN-13: 978-8448142124

“Chiral dynamics and peripheral transverse densities”. Carlos Granados and Christian Weiss. Journal of High Energy Physics, Vol. 1401 (2014) 092. <https://arxiv.org/pdf/1308.1634.pdf>



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2019-20

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica	
TÍTULO:	Determinación experimental del radio del protón	
TITLE:	Experimental determination of the proton radius	
SUPERVISOR/ES:	José Manuel Alarcón Soriano	
NÚMERO DE PLAZAS:	5	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

El radio del protón es una de las cantidades fundamentales en física atómica y nuclear. Dicha cantidad se puede estimar con gran precisión a partir de experimentos de dispersión electrón-protón o medidas espectroscópicas del átomo de hidrógeno. Hoy en día, la discrepancia tan significativa entre la determinación a partir de experimentos de dispersión y medidas espectroscópicas puede ser un indicativo de la existencia de física más allá del modelo estándar.

En este trabajo se pretende estudiar la determinación del radio del protón a través de medias de dispersión de electrón-protón usando datos experimentales recientes. De este modo el/la alumno/a aprenderá a conectar cálculos puramente teóricos con las medias experimentales directas para hacer una estimación del radio del protón.

Cada alumno/a empleará una parametrización diferente para la determinación del radio del protón y podrá entender las principales ventajas e inconvenientes de cada una de ellas.

METODOLOGÍA:

Es recomendable haber cursado o estar cursando las asignaturas optativas *Partículas Elementales y Campos cuánticos*.



BIBLIOGRAFÍA:

“An introduction to quantum field theory”. Michael E. Peskin and Daniel V. Schroeder. Addison-Wesley publishing company. ISBN-13: 978-0201503975.

“Quantum Field Theory”. Jean-Bernard Zuber and Claude Izykson. Dover Books on Physics. ISBN-13: 978-0486445687.

“The Quantum Theory of Fields, Volume 1: Foundations”. Steven Weinberg. Cambridge University Press. ISBN-13: 978-0521670531.

“Measurement of the elastic electron-proton cross section and separation of the electric and magnetic form factor in the Q^2 range from 0.004 to 1 $(\text{GeV}/c)^2$ ”. Jan Bernauer. Tesis doctoral Universidad de Mainz. <http://wwwa1.kph.uni-mainz.de/A1/publications/doctor/bernauer.pdf>



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2019-20

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica
TÍTULO:	Estrellas Relativistas
TITLE:	Relativistic Stars
SUPERVISOR/ES:	Luis Manuel González Romero
NÚMERO DE PLAZAS:	1
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/> Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

El objetivo del trabajo es el estudio de las propiedades de las estrellas de neutrones y su descripción dentro de la teoría de la Relatividad General.

Se deberán estudiar cuales son las características básicas observacionales de estas estrellas de neutrones, obtenidas de las observaciones de pulsares. Se estudiará que tipo de modelos se utilizan para describir estos objetos dentro de la Relatividad General.

El trabajo puede incluir la obtención de modelos numéricos sencillos con ordenador con simetría esférica ó más generales.

METODOLOGÍA:

Estudio de la bibliografía básica recomendada y utilización de programas de cálculo numérico y/o simbólico para la construcción de modelos.

BIBLIOGRAFÍA:

- 1) J.B. Hartle, Gravity. An Introduction to Einstein's General Relativity, Addison Wesley, 2003.
- 2) B.F. Schutz, A first course in general relativity, Cambridge University Press, 1985.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2019-20

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica II
TÍTULO:	Introducción a la teoría de dispersión
TITLE:	Introduction to Scattering Theory
SUPERVISOR/ES:	Raquel Molina Peralta
NÚMERO DE PLAZAS:	2
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/> Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

La teoría de dispersión es una herramienta esencial en el campo de física de partículas. Se pretenden introducir los conceptos básicos de la teoría de dispersión y que el estudiante adquiera los conocimientos necesarios para resolver problemas sencillos de interacción entre dos cuerpos por medio de un potencial.

METODOLOGÍA:

El enfoque será teórico-práctico, en el que las nociones básicas son introducidas al mismo tiempo que distintos problemas son planteados para su abordaje. Se estudiarán las simetrías en un problema de colisión, la amplitud, sección eficaz y desfase, la matriz S , la serie y aproximación de Born, desarrollo en ondas parciales, así como las propiedades analíticas de la amplitud, el teorema de Levinson, la expansión de alcance efectivo y propiedades de baja energía de la amplitud. Al mismo tiempo que se introducen algunos métodos para la resolución de problemas de colisión de partículas dado un potencial, y se discute la generación de estados ligados y resonancias.

El trabajo es individual y se recomiendan conocimientos previos de mecánica cuántica. El haber cursado la asignatura de campos cuánticos también será de ayuda para el alumno.

BIBLIOGRAFÍA:

- Martin A. D. Spearman T. D. Elementary Particle Theory, North-Holland PC, 1970.
- Griffiths D. Introduction to elementary particles. Wiley, 1987.
- Galindo A. Pascual, P. Quantum mechanics II, Springer, 1991
- Meson-meson interactions in a nonperturbative chiral approach, J. A. Oller, E.



Oset and J. R. Peláez, Phys. Rev. D59, 074001 (1999)

- The rho rho interaction in the HGF and the $f_0(1370)$, $f_2(1270)$ resonances, Phys. Rev. D78, 114018 (2008)



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2019-20

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica	
TÍTULO:	Integrabilidad, caos y entrelazamiento en sistemas cuánticos	
TITLE:	Integrability, chaos and entanglement in quantum systems	
SUPERVISOR/ES:	Federico Finkel Morgenstern y Artemio González López	
NÚMERO DE PLAZAS:	2	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

En este tema se abordan distintas cuestiones relacionadas con las nociones de solubilidad, integrabilidad y caos y propiedades de entrelazamiento en sistemas cuánticos. Dada la amplitud del tema, 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 integrables de muchos cuerpos de tipo Calogero–Sutherland, y su relación con cadenas de espines solubles 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 integrable 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:

- M. Baradaran, J.A. Carrasco, F. Finkel, A. González-López: Jastrow-like ground states for quantum many-body potentials with near-neighbors interactions, *Ann. Phys.-New York* 388, 147 (2017).
- 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).
- 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).
- B. Sutherland, *Beautiful Models. 70 Years of Exactly Solved Quantum Many-Body Problems*, World Scientific, 2004.
- T. Koprucki, H. Wagner, New exact ground states for one-dimensional quantum many-body systems, *J. Stat. Phys.* 100, 779 (2000).
- 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.
- M. L. Mehta, *Random Matrices*, Elsevier, 2010.
- 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. A. Nielsen, I. L. Chuang, *Quantum Computation and Quantum Information*, 10th anniversary ed., Cambridge University Press, 2010.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2019-20

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica	
TÍTULO:	Campos Gauge en espaciotiempo no conmutativo	
TITLE:	Gauge fields on noncommutative spacetime	
SUPERVISOR/ES:	Carmelo Pérez Martín	
NÚMERO DE PLAZAS:	1	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Adquisición de los rudimentos necesarios para trabajar en el área de los campos gauge sobre espacio-tiempo no conmutativo

METODOLOGÍA:

Estudio y discusión continua con el supervisor

BIBLIOGRAFÍA:

M.R. Douglas & N. Nekrasov, "Noncommutative field theory" Rev. Mod. Phys. 73 (2001) 977.

B. Jurco, L. Moller, S. Schraml, P. Schupp and J. Wess "Construction of nonabelian gauge theories on noncommutative spaces" Eur. Phys. J. C21 (2001) 383.

R.J Szabo, "Quantum field theory on noncommutative spaces" Phys. Rept. 378(2003) 207.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2019-20

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica
TÍTULO:	Elementos Fundamentales de Agujeros Negros
TITLE:	Fundamental Ingredients on Black Holes
SUPERVISOR/ES:	Diego Rubiera García
NÚMERO DE PLAZAS:	1
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/> Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Proporcionar un conjunto de conocimientos básicos sobre las propiedades geométricas y físicas de los agujeros negros, así como en herramientas computacionales, para el análisis de la física de los agujeros negros. Entender las soluciones clásicas de agujero negro de Relatividad General (con masa, carga y rotación). Extender dichas soluciones a teorías más generales de los campos.

METODOLOGÍA:

Se comenzará revisando nociones básicas de geometría diferencial, útiles para estudiar diferentes problemas de física gravitacional. A continuación, se estudiará la caracterización teórica de los agujeros negros, con particular énfasis en la naturaleza del horizonte de sucesos que caracteriza estos objetos, así como sus propiedades termodinámicas. Asimismo, se discutirá la noción de las singularidades espacio-temporales, y sus consecuencias para la consistencia de los agujeros negros.

Los métodos a seguir son puramente teóricos, y basados en elementos matemáticos bien conocidos en el campo.

El trabajo a realizar será personal con interacciones habituales para afianzar conceptos y aclarar las dudas que vayan surgiendo.

Se recomienda cierto conocimiento previo de teoría de campos y/o Relatividad, complementándose con formación adicional en el tema correspondiente.

BIBLIOGRAFÍA:

T. Ortín, Cambridge Monographs on Mathematical Physics (Cambridge University Press, Cambridge, England, 2004). Capítulo 7 y 8.

S.L. Shapiro, S.A. Teukolsky, *Black Holes, White Dwarfs, and Neutron Stars* (Wiley-Interscience, New York, 1983).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2019-20

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica
TÍTULO:	Electrodinámicas no Lineales y Gravitación
TITLE:	Nonlinear Electrodynamics and Gravitation
SUPERVISOR/ES:	Diego Rubiera García
NÚMERO DE PLAZAS:	1
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/> Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Generalizar la electrodinámica de Maxwell a familias de electrodinámicas no-lineales y resolver el problema de la divergencia de la autoenergía del electrón usando modelos clásicos.

A continuación, acoplar dichos modelos a la teoría de la Relatividad General de Einstein y caracterizar las soluciones de agujero negro correspondientes

METODOLOGÍA:

Se estudiarán las generalizaciones que den lugar a teorías viables respetando principios físicos bien establecidos. Los métodos a seguir son puramente teóricos, y basados en elementos matemáticos bien conocidos en el campo.

El trabajo a realizar será personal con interacciones habituales para afianzar conceptos y aclarar las dudas que vayan surgiendo.

Se recomienda cierto conocimiento previo de teoría de campos y/o Relatividad, complementándose con formación adicional en el tema correspondiente.

BIBLIOGRAFÍA:

A. Dobado, A. Gómez-Nicola, A. L. Maroto, and J. R. Peláez, Effective Lagrangians for the Standard Model (Springer-Verlag, Berlin, 1997).

T. Ortin, Cambridge Monographs on Mathematical Physics (Cambridge University Press, Cambridge, England, 2004).

H. P. de Oliveira, Classical Quantum Gravity 11, 1469 (1994).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2019-20

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica	
TÍTULO:	La paradoja de la información en agujeros negros	
TITLE:	Information paradox in black holes	
SUPERVISOR/ES:	Antonio Dobado	
NÚMERO DE PLAZAS:	2	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente

OBJETIVOS:

Se trata de hacer una revisión actualizada de la situación de la llamada paradoja de la información en los agujeros negros. Dicha paradoja ha sido objeto de discusión durante décadas y en el momento presente no existe un consenso general sobre su posible solución.

METODOLOGÍA:

Repaso de la bibliografía existente, para lo cual el alumno deberá introducirse en las técnicas de la Teoría Cuántica de Campos en Espacios Curvos, Relatividad General y la radiación de Hawking.

BIBLIOGRAFÍA:

Quantum Fields in Curved Space. Birrell and Davies. Cambridge University Press, 1984
The Black Hole information problem: past, present, and future, D. Marolf
Rept. Prog. Phys. **80**, no. 9, 092001 (2017) (arXiv:1704.05785)



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2019-20

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica
TÍTULO:	Campos cuánticos en espaciotiempos curvos
TITLE:	Quantum fields in curved spacetimes
SUPERVISOR/ES:	Luis J. Garay
NÚMERO DE PLAZAS:	3
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/> Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Se estudiarán algunos aspectos de la teoría cuántica de campos en espaciotiempos curvos tanto desde el punto de vista axiomático como mediante el análisis de modelos sencillos. Entre las posibles tareas a realizar, se hallan el estudio del efecto Unruh tanto en espaciotiempos planos como curvos y la radiación de Hawking en los procesos de colapso gravitatorio completo. Adicionalmente se analizará el papel que desempeña el tensor de energía-momento renormalizado en estos procesos. Uno de los objetivos fundamentales de este trabajo es identificar las dificultades inherentes al proceso de cuantización, así como considerar las diferentes maneras que se han propuesto para abordarlas.

METODOLOGÍA:

Estudio de la bibliografía recomendada, análisis del estatus actual a través de algunos artículos científicos sobre el tema y cálculos propios de la teoría cuántica de campos en espaciotiempos curvos.

Se recomienda haber cursado o estar cursando "Electrodinámica clásica", "Campos Cuánticos", "Relatividad General y Gravitación" y "Mecánica Cuántica".

BIBLIOGRAFÍA:

- N.D. Birrell, P.C.W. Davies, Quantum fields in curved space, Cambridge University Press, 1982.
- R. Wald, Quantum field theory in curved spacetime and black hole thermodynamics, University of Chicago Press, 1994.
- A. Fabbri, J. Navarro-Salas, Modeling black hole evaporation, World Scientific, 2005.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2019-20

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica
TÍTULO:	Introducción a gravedad cuántica
TITLE:	Introduction to quantum gravity
SUPERVISOR/ES:	Mercedes Martín Benito
NÚMERO DE PLAZAS:	2
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/> Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

El principal objetivo de este trabajo es obtener una visión general al problema de la cuantización de la gravedad y entender el estatus actual del tema. Para ello primero revisaremos las distintas motivaciones que llevan a tratar de construir un formalismo cuántico para el campo gravitatorio. Asimismo, se estudiarán las principales dificultades que existen a la hora de abordar la cuantización de la gravedad, y cómo el intento de superarlas da lugar a diferentes puntos de vista y formalismos. Finalmente se repasarán algunos de dichos formalismos para entender qué progresos se han llevado a cabo en el campo y en qué punto estamos en el problema de la cuantización de la gravedad.

METODOLOGÍA:

Estudio del estado actual del tema a través de la bibliografía recomendada y de algunos artículos científicos de revisión especializados.

Se recomienda haber cursado o estar cursando “Mecánica Cuántica”, “Mecánica Teórica”, “Relatividad General y Gravitación” y “Campos Cuánticos”.

BIBLIOGRAFÍA:

- R. Wald, General Relativity, University of Chicago Press, 1984.
- P.A. Dirac, Lectures on Quantum Mechanics, Dover Publications, 2001.
- k. Kiefer, Quantum Gravity, Oxford University Press, 2007.
- Approaches to Quantum Gravity, edited by Daniele Oriti, Cambridge University Press, 2009.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2019-20

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica
TÍTULO:	Teoría de la Información Cuántica y Computación Cuántica
TITLE:	Quantum Information and Quantum Computation
SUPERVISOR/ES:	Miguel A. Martin-Delgado
NÚMERO DE PLAZAS:	2
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/> Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Hacer una introducción a la teoría de la información cuántica mostrando cuáles son los principios y relación con la mecánica cuántica y con la teoría de la información clásica. Estudiar protocolos y algoritmos relevantes como: teleportación cuántica, codificación densa, algoritmos de Grover y Shor. Perspectivas actuales para su desarrollo.

METODOLOGÍA:

Reuniones periódicas con el alumno y estudio guiado de la bibliografía básica y fuentes en la red.

Asistencia a seminarios organizados por el Grupo de Información y Computación Cuántica de la Facultad de CC. Físicas.

<http://pendientedemigracion.ucm.es/info/giccucm/index.php/GICC.html>

BIBLIOGRAFÍA:

- 1) Physics World. Ejemplar de la revista de Marzo, 1998
- 2) "Information and Computation: Classical and Quantum aspects" Galindo, A., Martin-Delgado, M.A., Rev.Mod.Phys.74, 347 (2002)
- 3) "Quantum Computation and Quantum Information" Nielsen, M.A., I.L. Chuang, Cambridge Univ. Press 2000.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2019-20

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica
TÍTULO:	Computación Cuántica Topológica: Una Introducción
TITLE:	Topological Quantum Computation: an introduction
SUPERVISOR/ES:	Miguel A. Martin-Delgado
NÚMERO DE PLAZAS:	1
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/> Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Hacer una introducción a la teoría de la computación cuántica topológica mostrando cuáles son los principios y relación con la mecánica cuántica.

Estudiar cómo la topología ayuda a la construcción de ordenadores cuánticos robustos frente a la descoherencia y al ruido externo. Estudiar modelos simples con topología cuántica como el modelo de Kitaev y los códigos topológicos de color. Mostrar su relación con nuevas fases cuánticas de la materia llamadas órdenes topológicos y con la existencia de anyones. Perspectivas actuales para su desarrollo.

METODOLOGÍA:

Reuniones periódicas con el alumno y estudio guiado de la bibliografía básica y fuentes en la red.

Asistencia a seminarios organizados por el Grupo de Información y Computación Cuántica de la Facultad de CC. Físicas.

<http://pendientedemigracion.ucm.es/info/giccucm/index.php/GICC.html>

BIBLIOGRAFÍA:

- 1) Physics World. Ejemplar de la revista de Marzo, 1998
- 2) "*Information and Computation: Classical and Quantum aspects*" Galindo, A., Martin-Delgado, M.A., Rev.Mod.Phys.74, 347 (2002)
- 3) "*Quantum Computation and Quantum Information*" Nielsen, M.A., I.L. Chuang, Cambridge Univ. Press 2000.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2019-20

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica
TÍTULO:	Dinámica Clásica de Cuerdas Relativistas
TITLE:	Classical dynamics of relativistic strings
SUPERVISOR/ES:	Rafael Hernández Redondo
NÚMERO DE PLAZAS:	1
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/> Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

- Analizar las ecuaciones de movimiento para una cuerda no relativista en la formulación Lagrangiana, y las condiciones de contorno de tipo Neumann y de tipo Dirichlet.
- Extender la acción relativista para una partícula puntual a una cuerda. La acción de Nambu-Goto. Cuerdas abiertas y cuerdas cerradas.
- Analizar la invariancia bajo reparametrizaciones de la acción de Nambu-Goto y obtener las ecuaciones de movimiento para una cuerda relativista.
- Estudiar las condiciones de contorno de tipo Neumann y de tipo Dirichlet. Branas de Dirichlet.
- Analizar e interpretar el significado físico de las ecuaciones de movimiento de la cuerda.

METODOLOGÍA:

El alumno se familiarizará con el problema a través de la lectura y estudio de libros y artículos científicos introductorios relacionados con los objetivos propuestos. El trabajo incluirá la resolución de ejercicios y problemas. Se facilitará el acceso a la bibliografía más relevante.

BIBLIOGRAFÍA:

- J. Scherk, "An introduction to the theory of dual models and strings", Rev. Mod. Phys. 47 (1975), 123.



- M. B. Green, J. H. Schwarz and E. Witten, "Superstring Theory. Vol. 1: Introduction". Cambridge University Press, 1987.
- J. Polchinski, "String duality: a colloquium", Rev. Mod. Phys. 68 (1996), 1245. "String Theory. Vol. 1: An Introduction to the Bosonic String". Cambridge University Press, 1998.
- B. Zwiebach, "A First Course in String Theory". Cambridge University Press, 2004.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2019-20

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica	
TÍTULO:	Paradojas y cuestiones fundamentales en mecánica cuántica	
TITLE:	Fundamental questions and paradoxes in quantum mechanics	
SUPERVISOR/ES:	Ángel Rivas	
NÚMERO DE PLAZAS:	2	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

- Introducir al alumno en alguna de las cuestiones fundamentales que rodean la mecánica cuántica, tales como el problema de la medida, la fenomenología del entrelazamiento, o la falta de realismo.
- Estudiar alguno de resultados clásicos como la función de Wigner, el teorema de Bell, o el teorema Kochen-Specker y entender qué papel juegan estos resultados en nuestra comprensión de la naturaleza a nivel microscópico.
- Explorar resultados recientes en este campo como la cuantificación de la coherencia, el teorema PBR, la paradoja de Frauchinger-Renner, o el "darwinismo" cuántico.

METODOLOGÍA:

Es muy recomendable que el alumno haya cursado la asignatura de "Mecánica Cuántica". Recomendable las de "Física Atómica y Molecular" y "Coherencia Óptica y Laser".

El alumno dedicará tiempo a revisar la literatura a fin de comprender los conceptos implicados en el trabajo con mayor dedicación de la requerida en las asignaturas de grado. Deberá entender la descripción formal de fenómenos fundamentales de la teoría cuántica como la coherencia y el entrelazamiento. El trabajo tiene principalmente un carácter formativo, proporcionando al alumno herramientas que le permitan entender con más profundidad la naturaleza que describe la mecánica cuántica. Paralelamente, también podrá adquirir competencias prácticas estudiando



cómo cuestiones de carácter fundamental juegan un papel relevante en la teoría cuántica de la información.

BIBLIOGRAFÍA:

- N. D. Mermin, “Hidden variables and the two theorems of John Bell”, Rev. Mod. Phys. **65**, 803 (1993).
- M. J. W. Hall, “The significance of measurement independence for Bell inequalities and locality”, <https://arxiv.org/abs/1511.00729>.
- M. S. Leifer, “Is the quantum state real? An extended review of Psi-ontology theorems”, <https://arxiv.org/abs/1409.1570>.
- W. H. Zurek, “Quantum Darwinism”, Nat. Phys. **5**, 181-188 (2009).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2019-20

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica	
TÍTULO:	La relatividad general como una teoría gauge	
TITLE:	General relativity as a gauge theory	
SUPERVISOR/ES:	Fernando Ruiz Ruiz	
NÚMERO DE PLAZAS:	1	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente

OBJETIVOS:

Entender la formulación de la relatividad general como una teoría gauge local con álgebra de Lie $so(1,3)$.

METODOLOGÍA:

Se pretende que el alumno sea capaz de reproducir de forma autónoma resultados y conocimientos que son continuación de los del Grado. Ello lleva consigo el estudio y síntesis de algunos temas de álgebras y grupos de Lie, relatividad general y teorías de Yang-Mills.

BIBLIOGRAFÍA:

M. Göckeler, T. Schücker: Differential geometry, gauge theories, and gravity, Cambridge University Press (Cambridge 1989).

D.H. Sattinger and O.L. Weaver: Lie Groups and algebras with applications to physics, geometry, and mechanics, Springer-Verlag (Heidelberg 1986).

R.T. Hammond: Torsion gravity, Rep. Prog. Phys. **65** (2002) 599.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2019-20

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica
TÍTULO:	Sistemas cuánticos abiertos: física e información
TITLE:	Open quantum systems: physics and information
SUPERVISOR/ES:	Ángel Rivas
NÚMERO DE PLAZAS:	2
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/> Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

- Introducir al alumno en la teoría de los sistemas cuánticos abiertos, es decir aquellos sistemas cuánticos que intercambian información con el ambiente.
- Indagar en el tipo de efectos que causa la interacción con el ambiente sobre un sistema cuántico, tales como la decoherencia, la pérdida de entrelazamiento, la degradación de la información, o la transición del régimen cuántico al clásico.
- Familiarizarse con el formalismo, los conceptos fundamentales y aprender alguna de las técnicas básicas que se emplean para describir estos efectos.

METODOLOGÍA:

Es crucial que el alumno haya cursado la asignatura de "Mecánica Cuántica". Recomendable las de "Física Atómica y Molecular" y "Coherencia Óptica y Laser".

El alumno dedicará tiempo a revisar la literatura a fin de comprender los conceptos implicados. Deberá entender la descripción formal de fenómenos fundamentales de la teoría cuántica como la coherencia y el entrelazamiento. Después de familiarizarse con la teoría, se espera que pueda analizar la dinámica de algún sistema sencillo, o centrarse en alguna cuestión específica. Este trabajo pretende complementar la formación en física cuántica que se ve en el grado, proporcionando al alumno un acercamiento a la física de un sistema cuántico en condiciones reales de falta de aislamiento. Cuestión ésta de especial relevancia en el desarrollo moderno de la física cuántica y la información cuántica.



BIBLIOGRAFÍA:

- A. Rivas, S. F. Huelga, "Open Quantum Systems. An Introduction", Springer 2012. (<https://arxiv.org/abs/1104.5242>)
- H.-P Breuer, F. Petruccione, "The Theory of Open Quantum Systems", Oxford University Press, 2002.
- C. W. Gardiner and P. Zoller, "Quantum Noise", Springer, 2004.
M. A. Schlosshauer, "Decoherence and the Quantum-to-Classical Transition", Springer, 2007.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2019-20

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica
TÍTULO:	Fenomenología de la interacción de piones con núcleos
TITLE:	Phenomenology of the pion-nucleon interaction
SUPERVISOR/ES:	Raquel Molina Peralta
NÚMERO DE PLAZAS:	4
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input type="checkbox"/> Selección por expediente <input checked="" type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Estudio de la interacción de piones con núcleos mediante teorías efectivas. Introducción a la teoría quiral de perturbaciones con bariones. Papel de la resonancia Delta(1232) en la fenomenología de la reacción pión-nucleón. Introducción a la expansión de la masa del nucleón en términos de la masa del pión, de acuerdo a la teoría efectiva.

METODOLOGÍA:

Entender la interacción de piones con núcleos es esencial en física nuclear y de bajas energías. Se pretende dar a conocer al estudiante las teorías efectivas y algunas de sus aplicaciones. Se introducen conceptos y herramientas de cálculo (lagrangianos) para el cálculo de la amplitud de colisión de piones con nucleones, como son la teoría quiral de perturbaciones para bariones y unos lagrangianos efectivos que incluyen la resonancia Delta. Se estudia la dependencia de la masa del nucleón con la masa del pión según la teoría efectiva y se introduce el teorema de Feynman-Hellmann. Se compara la dependencia con algunos datos de lattice qcd y se discute.

Se dará un mayor énfasis en los conceptos y metodología y se realizará algún cálculo sencillo.

El trabajo es individual y requiere conocimientos previos de mecánica cuántica. El haber cursado la asignatura de campos cuánticos también será de gran ayuda para el alumno.

BIBLIOGRAFÍA:

- A primer for Chiral Perturbation Theory (Lecture Notes in Physics, 830). Stefan Scherer, Matthias R. Schindler. Springer.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2019-20

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica
TÍTULO:	Interacción mesón-barión en ondas con Bethe-Salpeter
TITLE:	S-wave meson-baryon interaction with Bethe-Salpeter
SUPERVISOR/ES:	Raquel Molina Peralta
NÚMERO DE PLAZAS:	3
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input type="checkbox"/> Selección por expediente <input checked="" type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Estudiar un sistema de canales acoplados mesón-barión mediante teorías efectivas (teoría quiral de perturbaciones con bariones) y métodos de unitarización de la matriz S. Generación dinámica de resonancias bariónicas como la $\Lambda(1405)$ y $N^*(1535)$. Cálculo de la sección eficaz y longitud de dispersión.

METODOLOGÍA:

Descripción de la interacción mesón-barión en ondas mediante teorías efectivas. Se introduce la ecuación de Bethe-Salpeter, el concepto de unitariedad, y la proyección en ondas parciales de la amplitud. Se estudian sistemas de canales acoplados mesón-barión, el cálculo del potencial de interacción y la generación dinámica de resonancias a partir de la extensión de la amplitud al plano complejo de la energía. En particular, se estudian las resonancias $\Lambda(1405)$ y $N^*(1535)$, y las propiedades obtenidas, como masa, anchura de desintegración y acoplo, según la teoría efectiva. Se introducen conceptos al mismo tiempo que se realiza un cálculo numérico en Mathematica.

El trabajo es individual y requiere conocimientos previos de mecánica cuántica. El haber cursado la asignatura de campos cuánticos también será de gran ayuda para el alumno.

BIBLIOGRAFÍA:

- A primer for Chiral Perturbation Theory (Lecture Notes in Physics, 830). Stefan Scherer, Matthias R. Schindler. Springer.
- J. A. Oller, E. Oset and A. Ramos, Progress in Particle and Nuclear Physics 45 (2000) 157-242
- E. Oset and A. Ramos, Nucl. Phys. A 635, 99 (1998)
- J. Nieves and E. R. Arriola, Phys. Rev. D64, 116008 (2001)



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2019-20

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica
TÍTULO:	Teoría geométrica de la información y entropías generalizadas
TITLE:	Information geometry and generalized entropies
SUPERVISOR/ES:	Piergiulio Tempesta
NÚMERO DE PLAZAS:	1
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input type="checkbox"/> Selección por expediente <input checked="" type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

El objetivo general del tema es profundizar en la teoría geométrica de la información y su relación con las entropías generalizadas recientemente introducidas. En particular, se analizarán las estructuras Riemannianas que emergen de las divergencias de Kullback-Leibler, Bregman, etc. Se considerarán aplicaciones a sistemas estadísticos clásicos y cuánticos, y a problemas de inferencia estadística, machine learning, etc.

En el trabajo, se propone desarrollar uno de los siguientes objetivos específicos:

- Estudio de las estructuras Riemannianas duales sobre variedades estadísticas
- Estudio del papel de la noción de entropía en la física de los sistemas complejos (sistemas débilmente caóticos, entanglement, redes complejas con topología variable, teoría geométrica de la información).
- Aplicaciones de la teoría geométrica de la información a problemas de inferencia estadística, quantum information, etc.

METODOLOGÍA:

Estudio de libros y artículos científicos relacionados con el tema.

Es recomendable que el alumno tenga conocimientos previos de física estadística y termodinámica.

BIBLIOGRAFÍA:

- S.- I. Amari, H. Nagaoka, Methods of Information Geometry, Trans. Math. Monogr., vol 191, Amer. Math. Soc & Oxford Univ. Press, Oxford, 2000.
- S. I. Amari, Information Geometry and Its Applications, Springer, 2016
- A. I. Khinchin, Mathematical Foundations of Information Theory, Dover, New York, 1957.
- J. Naudts, Entropy, 10, 131-149 (2008).



- P. Tempesta, Phys. Rev. E 84, 021121 (2011).
- P. Tempesta, Annals of Phys. 365, 180-197 (2016).
- C. Tsallis, Introduction to Nonextensive Statistical Mechanics, Springer (2009)
- M. A. Rodríguez, A. Romaniega and P. Tempesta, Proc. Royal Soc. A 475 2018.0633 (2019).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2019-20

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica
TÍTULO:	Ordenadores cuánticos con iones atrapados
TITLE:	Trapped-ion quantum computers
SUPERVISOR/ES:	Alejandro Bermúdez
NÚMERO DE PLAZAS:	2
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input type="checkbox"/> Selección por expediente <input checked="" type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Comprender el funcionamiento de los prototipos existentes de ordenadores cuánticos construidos con registros de átomos ionizados en trampas electromagnéticas. Desarrollar técnicas analíticas y numéricas para poder describir un conjunto de puertas de uno y dos bits cuánticos (qubits), así como la inicialización y medida, que permitan realizar cualquier algoritmo cuántico según el modelo de circuitos cuánticos.

METODOLOGÍA:

En este TFG, el alumno aplicará conceptos de física atómica, óptica, y mecánica cuántica, para describir una tecnología experimental de actualidad: iones atrapados interactuando con radiación electromagnética. Para ello, el alumno deberá leer ciertos capítulos de libros y artículos de revisión, para poder reproducir los modelos microscópicos tanto analítica como numéricamente. Esto permitirá al alumno comprender los esquemas actuales concretos en campo de la computación cuántica con iones atrapados, y poder desarrollar nuevas propuestas.

BIBLIOGRAFÍA:

1. M. A. Nielsen and I. L. Chuang, *Quantum Computation and Quantum Information* (Cambridge University Press, Cambridge, 2000).
2. H. Haefner, C.F. Roos, and R. Blatt, Phys. Rep. 469, 155 (2008).
3. J. I. Cirac and P. Zoller, Phys. Rev. Lett. 74, 4091 (1995).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2019-20

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica
TÍTULO:	INTRODUCCION A LA FISICA DE AGUJEROS NEGROS
TITLE:	BREAK COURSE ON BLACK HOLE PHYSICS
SUPERVISOR/ES:	DIEGO RUBIERA GARCIA
NÚMERO DE PLAZAS:	5
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input type="checkbox"/> Selección por expediente <input checked="" type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Alcanzar un entendimiento básico de la naturaleza y propiedades básicas de los agujeros negros, tanto en sus aspectos físicos como en las herramientas matemáticas más elementales para entenderlos.

METODOLOGÍA:

Se propondrá una búsqueda bibliográfica del desarrollo histórico del entendimiento de los agujeros negros desde el desarrollo de la Relatividad General hasta tiempos más recientes. Se complementará con pequeños ejercicios para entrenar ciertas habilidades matemáticas que ayuden a la comprensión de dichos objetos. Asimismo, se propondrá el análisis de algún descubrimiento más actual sobre aspectos astrofísicos o fundamentales de los agujeros negros.

BIBLIOGRAFÍA:

S. Chandrasekhar: "The mathematical theory of black holes"
T. Padmanabhan: "Gravitation. Foundations and Frontiers"
T. Ortin: "Gravity and Strings" (Capítulos 7 y 8).
R. M. Wald: "General Relativity"



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2019-20

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica	
TÍTULO:	Modelos de inflación cósmica y observaciones	
TITLE:	Models of Cosmological Inflation and Observations	
SUPERVISOR/ES:	Mindaugas Karčiauskas	
NÚMERO DE PLAZAS:	5	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa	Selección por expediente <input checked="" type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Comprensión de los diferentes modelos de inflación cosmológica, desde un punto de vista cualitativo y cuantitativo, y de su comparación con las observaciones de la radiación de fondo de microondas.

METODOLOGÍA:

Se considerarán los modelos de inflación cósmica formulados usando un sólo campo escalar. Para cada potencial del campo, es decir, para cada modelo particular, se realizará el siguiente estudio:

1. Obtención de los parámetros de "slow-roll", necesarios para describir un periodo inflacionario.
2. Cálculo del índice espectral escalar y de la amplitud de las ondas gravitacionales.
3. Comparación de los resultados del apartado anterior con las restricciones obtenidas por las mediciones del satélite Planck de la radiación de fondo de microondas.

BIBLIOGRAFÍA:

1. David H. Lyth and Andrew R. Liddle, "The Primordial Density Perturbation: Cosmology, Inflation and the Origin of Structure", Cambridge University Press, 2009
2. Scott Dodelson, "Modern Cosmology", Academic Press 2003
3. Steven Weinberg, "Cosmology", Oxford University Press, 2008
4. Martin J., Ringeval C., Trota R. and Vennin V., "The Best Inflationary Models After Planck", JCAP **1403** (2014) 039



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2019-20

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica	
TÍTULO:	Teorías efectivas de QCD para física de spin	
TITLE:	QCD effective field theories for spin physics	
SUPERVISOR/ES:	Ignazio Scimemi	
NÚMERO DE PLAZAS:	2	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input type="checkbox"/>	Selección por expediente <input checked="" type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

El objetivo es adquirir las nociones básicas de teorías efectivas de QCD como SCET, la factorización de procesos hadrónicos y su aplicaciones al estudio de la distribución de momento y spin de quarks y gluones.

METODOLOGÍA:

- 1-Introducción a la teoría de campos y al concepto de renormalización de operadores.
- 2-Método de cálculos (loops, regularización dimensional,..)
- 3-Aplicación a los procesos básicos de física de spin (Drell-Yan, SIDIS, ..)

BIBLIOGRAFÍA:

- Iain Stewart lectures, https://ocw.mit.edu/courses/physics/8-851-effective-field-theory-spring-2013/lecture-notes/MIT8_851S13_sctnotes.pdf
- T. Becher, A.Broggio and A.Ferrogli, "Introduction to Soft-Collinear Effective Theory," Lect. Notes Phys. {896}, pp.1 (2015).[arXiv:1410.1892 [hep-ph]].
- J. Collins, "Foundations of perturbative QCD," Camb. Monogr. Part. Phys. Nucl. Phys. Cosmol. {32} (2011) 1.
- I. Scimemi, "A short review on recent developments in TMD factorization and implementation," arXiv:1901.08398 [hep-ph].



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2019-20

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física teórica
TÍTULO:	Determinación de los parámetros de resonancias en física hadrónica
TITLE:	Determination of Resonances Parameters in Hadronic Physics
SUPERVISOR/ES:	Vincent Mathieu
NÚMERO DE PLAZAS:	4
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input type="checkbox"/> Selección por expediente <input checked="" type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Extraer los parámetros de las resonancias, masa y anchura de desintegración, que se observan en varias reacciones de física hadrónica.

METODOLOGÍA:

Se introducen los conceptos de descomposición en ondas parciales de la amplitud de colisión, de desfases de las ondas parciales y de resonancias.

Se estudia la física de varias reacciones de física hadrónica, incluida la difusión de piones, la difusión pion-nucleon y otras reacciones medidas en laboratorios de física experimental de alta energía.

Se realiza un ajuste de los datos experimentales.

Para ello, se puede utilizar Mathematica, Matlab, Python, Fortran o C/C++.

Se realiza una extensión del modelo en el plano complejo para extraer los parámetros de las resonancias.

BIBLIOGRAFÍA:

[1] Gribov, V. "Strong Interaction of Hadrons at High Energies", Cambridge University Press, 2009

[2] Perl, M. "High Energy Hadron Physics", John Wiley and Sons Inc., 1974



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2019-20

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica
TÍTULO:	Descripción de reacciones de alta energía
TITLE:	Description of High Energy Reactions
SUPERVISOR/ES:	Vincent Mathieu
NÚMERO DE PLAZAS:	3
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input type="checkbox"/> Selección por expediente <input checked="" type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Obtener descripciones de reacciones de física hadrónica a alta energía.

METODOLOGÍA:

Se introducen los conceptos de descomposición en ondas parciales de la amplitud de colisión, de desfases de las ondas parciales y de polos de Regge.

Se estudia la física de varias reacciones de física hadrónica a alta energía, incluida la difusión de piones, la difusión pion-nucleón y otras reacciones medidas en laboratorios de física experimental de alta energía.

Se realiza un ajuste de los datos experimentales con Mathematica, Matlab, Python, Fortran o C/C++.

BIBLIOGRAFÍA:

[1] Gribov, V. "Strong Interaction of Hadrons at High Energies", Cambridge University Press, 2009

[2] Perl, M. "High Energy Hadron Physics", John Wiley and Sons Inc., 1974



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2019-20

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	FÍSICA TEÓRICA	
TÍTULO:	LENTES GRAVITACIONALES	
TITLE:	Gravitational Lenses	
SUPERVISOR/ES:	Luis Manuel González Romero	
NÚMERO DE PLAZAS:	2	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa	Selección por expediente <input checked="" type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

El objetivo de este trabajo es estudiar diferentes lentes gravitacionales dentro del marco de la Relatividad General y los efectos detectables desde un punto de vista astrofísico.

Temas a tratar: ecuación de las lentes, radio de Einstein, multi-imágenes, anillos de Einstein.

METODOLOGÍA:

Estudio bibliográfico y reproducción de resultados.

BIBLIOGRAFÍA:

1. J.B. Hartle, Gravity. An Introduction to Einstein's General Relativity, Addison Wesley, 2003.
2. J. Wambsganss, "Gravitational Lensing in Astronomy", Living Rev. Relativity , 1 , (1998), 12.
3. P. Schneider, J. Ehlers, E.E. Falco, Gravitational Lenses, Springer Verlag, 1999.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2019-20

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica	
TÍTULO:	Radiación Gravitacional	
TITLE:	Gravitational Radiation	
SUPERVISOR/ES:	Luis Manuel González Romero	
NÚMERO DE PLAZAS:	4	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa	Selección por expediente <input checked="" type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

El objetivo de este trabajo es estudiar las propiedades de la radiación gravitacional tanto desde un punto de vista teórico dentro de la Relatividad General como su detección experimental.

Temas a tratar: producción de ondas gravitacionales en aproximación de campo débil, Radiación gravitacional y estrellas binarias, detección de ondas gravitacionales.

METODOLOGÍA:

Estudio bibliográfico y reproducción de resultados.

BIBLIOGRAFÍA:

- 1) J.B. Hartle, Gravity. An Introduction to Einstein's General Relativity, Addison Wesley, 2003.
- 2) B.F. Schutz, A first course in general relativity, Cambridge University Press, 1985.
- 3) B.S. Sathyaprakash and Bernard F. Schutz, "Physics, Astrophysics and Cosmology with Gravitational Waves", Living Rev. Relativity, 12, (2009), 2.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2019-20

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica
TÍTULO:	Imágenes de un agujero negro
TITLE:	Images of a Black Hole
SUPERVISOR/ES:	F. Javier Chinae
NÚMERO DE PLAZAS:	2
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input type="checkbox"/> Selección por expediente <input checked="" type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Recientemente se ha dado a conocer a través de los medios informativos, en una rueda de prensa “online” de ámbito mundial, recogida por las televisiones y los periódicos, la considerada por sus autores y dichos medios como la “primera fotografía de un agujero negro” (dicha “foto” se trata en realidad del resultado de componer mediante interferometría de amplia base las señales de radioastronomía captadas por varias antenas distribuidas por nuestro planeta). El objetivo del presente trabajo es describir de forma detallada del método utilizado, y comparar las imágenes con los estudios teóricos previos sobre la apariencia visual de un agujero negro.

METODOLOGÍA:

Análisis, comprensión, y exposición de las publicaciones relevantes sobre el tema. Describir en particular el papel que ha tenido la colaboración EHT (*Event Horizon Telescope*).

BIBLIOGRAFÍA:

The Astrophysical Journal Letters, 875:L1 2019 April 10: First M87 Event Horizon Telescope Results. I. The Shadow of the Supermassive Black Hole
The Astrophysical Journal Letters, 875:L2, 2019 April 10: II. Array and Instrumentation
The Astrophysical Journal Letters, 875:L3, 2019 April 10: III. Data Processing and Calibration
The Astrophysical Journal Letters, 875:L4, 2019 April 10: IV. Imaging the Central Supermassive Black Hole
The Astrophysical Journal Letters, 875:L5, 2019 April 10: V. Physical Origin of the Asymmetric Ring
The Astrophysical Journal Letters, 875:L6, 2019 April 10: VI. The Shadow and Mass of the Central Black Hole (para acceder cómodamente a estas referencias, ir a <https://eventhorizontelescope.org/>)



[https://iopscience.iop.org/journal/2041-8205/page/Focus on EHT](https://iopscience.iop.org/journal/2041-8205/page/Focus_on_EHT)

<https://eventhorizontelescope.org/>

<https://www.jpl.nasa.gov/edu/news/2019/4/19/how-scientists-captured-the-first-image-of-a-black-hole> <http://www.lmtgtm.org/>

Sobre estudios teóricos previos acerca del aspecto visual de un agujero negro:

Jean-Pierre Luminet, *Image of a spherical black hole with thin accretion disk*,

Astronomy and Astrophysics, **75**, 228-235 (1979)

<http://blogs.nature.com/aviewfromthebridge/2017/03/28/imaging-black-holes/>



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2019-20

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica
TÍTULO:	<i>El problema de Thomson: configuraciones de equilibrio de N cargas del mismo signo sobre una superficie esférica.</i>
TITLE:	<i>The Thomson problem: equilibrium configurations of N mutually repelling charges on the surface of a sphere</i>
SUPERVISOR/ES:	F. Javier Chinae
NÚMERO DE PLAZAS:	2
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input type="checkbox"/> Selección por expediente <input checked="" type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Este problema sobre posibles configuraciones de equilibrio fue considerado por Thomson en relación con su modelo atómico, pero su importancia conceptual es mucho más amplia, tanto en Física como en Matemáticas. El objetivo es profundizar en los resultados exactos conocidos, y la posible relación con consideraciones de simetría y de teoría de grupos, así como la descripción gráfica de los resultados.

METODOLOGÍA:

- Indagación, consulta y crítica de la bibliografía (no restringida a la mencionada más abajo) y referencias relevantes, integrándolas en una exposición coherente del problema y de los resultados existentes, incluyendo la cuestión de la estabilidad de las soluciones.
- Tratamiento detallado de casos sencillos.
- Análisis numérico y representación gráfica.

BIBLIOGRAFÍA:

M. Bowick, A. Cacciuto, D.R. Nelson, and A. Travesset, Crystalline Order on a Sphere and the Generalized Thomson Problem, Phys. Rev. Lett. **89**, 185502 (10 October 2002) ; Phys. Rev. Lett. **89**, 249902 (21 November 2002)

Henry Cohn and Abhinav Kumar, "Universally optimal distribution of points on spheres". J. Amer. Math. Soc. 20 (2007), no. 1, 99—148

Michael Atiyah, Paul Sutcliffe, Polyhedra in physics, chemistry and geometry, [arXiv:math-ph/0303071v1](https://arxiv.org/abs/math-ph/0303071v1)

Cris Cecka, Mark J. Bowick, and Alan A. Middleton: <http://thomson.phy.syr.edu/>



Richard Evan Schwartz, The 5 electron case of Thomson's problem, [arXiv:1001.3702v5](https://arxiv.org/abs/1001.3702v5)

<http://cnls.lanl.gov/External/Kac%20Presentations/CrystallographyTalk.pdf>

<http://youtu.be/uX3yDdwJ50k>



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2019-20

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	FÍSICA TEÓRICA	
TÍTULO:	Dinámica Clásica de Cuerdas Relativistas	
TITLE:	Classical dynamics of relativistic strings	
SUPERVISOR/ES:	Rafael Hernández Redondo	
NÚMERO DE PLAZAS:	3	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa	Selección por expediente <input checked="" type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

- Analizar las ecuaciones de movimiento para una cuerda no relativista en la formulación Lagrangiana, y las condiciones de contorno de tipo Neumann y de tipo Dirichlet.
- Extender la acción relativista para una partícula puntual a una cuerda. La acción de Nambu-Goto. Cuerdas abiertas y cuerdas cerradas.
- Analizar la invariancia bajo reparametrizaciones de la acción de Nambu-Goto y obtener las ecuaciones de movimiento para una cuerda relativista.
- Estudiar las condiciones de contorno de tipo Neumann y de tipo Dirichlet. Branas de Dirichlet.
- Analizar e interpretar el significado físico de las ecuaciones de movimiento de la cuerda.

METODOLOGÍA:

El alumno se familiarizará con el problema a través de la lectura y estudio de libros y artículos científicos introductorios relacionados con los objetivos propuestos. El trabajo incluirá la resolución de ejercicios y problemas. Se facilitará el acceso a la bibliografía más relevante.

BIBLIOGRAFÍA:

- J. Scherk, "An introduction to the theory of dual models and strings", Rev. Mod. Phys. 47 (1975), 123.
- M. B. Green, J. H. Schwarz and E. Witten, "Superstring Theory. Vol. 1: Introduction". Cambridge University Press, 1987.
- J. Polchinski, "String duality: a colloquium", Rev. Mod. Phys. 68 (1996), 1245. "String Theory. Vol. 1: An Introduction to the Bosonic String". Cambridge University Press, 1998.
- B. Zwiebach, "A First Course in String Theory". Cambridge University Press, 2004.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2019-20

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	FISICA TEÓRICA	
TÍTULO:	INTRODUCCION A LA FISICA DE AGUJEROS NEGROS	
TITLE:	BREAK COURSE ON BLACK HOLE PHYSICS	
SUPERVISOR/ES:	DIEGO RUBIERA GARCIA	
NÚMERO DE PLAZAS:	1	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input type="checkbox"/>	Selección por expediente <input checked="" type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Alcanzar un entendimiento básico de la naturaleza y propiedades básicas de los agujeros negros, tanto en sus aspectos físicos como en las herramientas matemáticas más elementales para entenderlos.

METODOLOGÍA:

Se propondrá una búsqueda bibliográfica del desarrollo histórico del entendimiento de los agujeros negros desde el desarrollo de la Relatividad General hasta tiempos más recientes. Se complementará con pequeños ejercicios para entrenar ciertas habilidades matemáticas que ayuden a la comprensión de dichos objetos. Asimismo, se propondrá el análisis de algún descubrimiento más actual sobre aspectos astrofísicos o fundamentales de los agujeros negros.

BIBLIOGRAFÍA:

- S. Chandrasekhar: "The mathematical theory of black holes"
- T. Padmanabhan: "Gravitation. Foundations and Frontiers"
- T. Ortin: "Gravity and Strings " (Capítulos 7 y 8).
- R. M. Wald: "General Relativity"



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2019-20

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica
TÍTULO:	Introducción a la teoría de dispersión
TITLE:	Introduction to Scattering Theory
SUPERVISOR/ES:	Raquel Molina Peralta
NÚMERO DE PLAZAS:	1
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input type="checkbox"/> Selección por expediente <input checked="" type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

La teoría de dispersión es una herramienta esencial en el campo de física de partículas. Se pretenden introducir los conceptos básicos de la teoría de dispersión y que el estudiante adquiera los conocimientos necesarios para resolver problemas sencillos de interacción entre dos cuerpos por medio de un potencial.

METODOLOGÍA:

El enfoque será teórico-práctico, en el que las nociones básicas son introducidas al mismo tiempo que distintos problemas son planteados para su abordaje. Se estudiarán las simetrías en un problema de colisión, la amplitud, sección eficaz y desfase, la matriz S , la serie y aproximación de Born, desarrollo en ondas parciales, así como las propiedades analíticas de la amplitud, el teorema de Levinson, la expansión de alcance efectivo y propiedades de baja energía de la amplitud. Al mismo tiempo que se introducen algunos métodos para la resolución de problemas de colisión de partículas dado un potencial, y se discute la generación de estados ligados y resonancias.

El trabajo es individual y requiere conocimientos previos de mecánica cuántica. El haber cursado la asignatura de campos cuánticos también será de ayuda para el alumno.

BIBLIOGRAFÍA:

- Martin A. D. Spearman T. D. Elementary Particle Theory, North-Holland PC, 1970.
- Griffiths D. Introduction to elementary particles. Wiley, 1987.
- Galindo A. Pascual, P. Quantum mechanics II, Springer, 1991
- Meson-meson interactions in a nonperturbative chiral approach, J. A. Oller, E. Oset and J. R. Peláez, Phys. Rev. D59, 074001 (1999)
- The rho rho interaction in the HGF and the $f_0(1370)$, $f_2(1270)$ resonances, Phys. Rev. D78, 114018 (2008)