



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2020-21

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:	Vincent Mathieu
NÚMERO DE PLAZAS:	1
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 (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 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica
TÍTULO:	Buscando nueva física dentro de los muones
TITLE:	Searching for new physics within the muons
SUPERVISOR/ES:	Juan José Sanz Cillero
NÚMERO DE PLAZAS:	5
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/> Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

El momento magnético anómalo del muon ($g-2$) representa una de las observables medidas con mayor precisión en física de partículas. Por este motivo es un óptimo lugar para buscar efectos de nueva física, que excedan a lo que se denomina el Modelo Estándar de partículas. En concreto, se viene observando desde hace años importantes discrepancias entre las mediciones experimentales y las predicciones teóricas que podrían estar indicando la existencia de física más allá del Modelo Estándar. Para ello, es necesario tener un conocimiento preciso de nuestras predicciones, en particular de las contribuciones debidas a las interacciones fuertes de la Cromodinámica Cuántica (QCD).

En concreto, en este TFG se propone abordar los siguientes objetivos:

- Estudio bibliográfico del problema de la discrepancia entre la medición experimental y la predicción teórica del momento magnético anómalo del muon.
- Cálculo de procesos de QCD básicos que contribuyen al momento magnético anómalo del muon. Estas contribuciones vienen principalmente de la región energética en que la interacción fuerte de QCD es no-perturbativa, requiriendo el uso de teorías efectivas.
- Relevancia y análisis numérico de estas contribuciones de QCD al momento magnético anómalo del muon.



METODOLOGÍA:

Dentro de este proyecto, es muy recomendable que el alumno esté cursando o haya cursado las asignaturas de Partículas Elementales, Campos Cuánticos y Simetrías y Grupos en Física.

Se desarrollará un trabajo principalmente teórico. Se aprenderá a manejar con soltura el cálculo de diagramas de Feynman a nivel árbol y al nivel de un *loop* en procesos básicos. Se utilizará el Lagrangiano efectivo de QCD a bajas energías proporcionado por la Teoría Quiral de Perturbaciones.

BIBLIOGRAFÍA:

Pseudoscalar pole light-by-light contributions to the muon $(g-2)(g-2)(g-2)$ in Resonance Chiral Theory, A. Guevara, P. Roig & J.J. Sanz-Cillero, *JHEP* 06 (2018) 160; e-Print: [1803.08099](https://arxiv.org/abs/1803.08099) [hep-ph]

The Muon $g-2$, Fred Jegerlehner, & Andreas Nyffeler, *Phys.Rept.* 477 (2009) 1-110; e-Print: [0902.3360](https://arxiv.org/abs/0902.3360)

Update of the ALEPH non-strange spectral functions from hadronic τ decays, Michel Davier, Andreas Höcker, Bogdan Malaescu, Chang-Zheng Yuan & Zhiqing Zhang, *Eur.Phys.J.C* 74 (2014) 3, 2803; e-Print: [1312.1501](https://arxiv.org/abs/1312.1501) [hep-ex]

Rho meson properties in the chiral theory framework, J.J. Sanz-Cillero & A. Pich, *Eur.Phys.J.C* 27 (2003) 587-599; e-Print: [hep-ph/0208199](https://arxiv.org/abs/hep-ph/0208199) [hep-ph]



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica
TÍTULO:	Sistemas integrables y superintegrables en Mecánica Clásica y Cuántica
TITLE:	Integrable and superintegrable systems in Classical and Quantum Mechanics
SUPERVISOR/ES:	Piergiulio Tempesta y Miguel Ángel Rodríguez González
NÚMERO DE PLAZAS:	2
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input type="checkbox"/> Selección por expediente <input checked="" type="checkbox"/>

OBJETIVOS: Se estudian sistemas clásicos con un número de cantidades conservadas mayor que la dimensión del espacio, lo que permite construir diferentes conjuntos maximales de integrales primeras en involución. La construcción y estudio de las propiedades de estos sistemas es objeto actualmente de numerosos trabajos.

Se pretende desarrollar este tema a través de los puntos siguientes:

- Estudio de los fundamentos del problema y su formulación en el marco de la mecánica clásica y cuántica
- Relación de estos sistemas con el problema de separación de variables

Construcción explícita de sistemas superintegrables y de las correspondientes cantidades conservadas.

METODOLOGÍA: Estudio de secciones de libros relacionados con el tema y artículos científicos que presentan casos concretos o revisiones del tema. Desarrollo de algún ejemplo particular y discusión de problemas no resueltos o que se encuentren en estudio.

Es recomendable que el alumno haya cursado las asignaturas de "Geometría Diferencial y Cálculo Tensorial", "Simetrías y Grupos en Física", "Mecánica Teórica" y "Mecánica Cuántica".

BIBLIOGRAFÍA:

- V.I. Arnol'd, "Mathematical Methods of Classical Mechanics" (Springer)
- A. Fassano, S. Marmi, "Analytical Mechanics: an introduction" (Oxford)
- H. Goldstein, C.P. Poole, J.L. Safko, "Classical Mechanics" (Pearson)
- P. Libermann, C.M. Marle: "Symplectic Geometry and Analytical Mechanics" (Springer)
- M.B. Sheftel, P. Tempesta, P. Winternitz, J. Math. Phys. **42**, 659, (2001)
- M.A. Rodríguez, P. Tempesta, P. Winternitz: Phys. Rev. E **78**, 046608 (2008)
- F. Tremblay, A.V. Turbiner, P. Winternitz: J. Phys. A, Math. Theor. **42**, 242001 (2009)
- M.F. Rañada, M.A. Rodríguez, M. Santander: J. Math. Phys. **51**, 042901 (2010)



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	FISICA TEORICA	
TÍTULO:	ELEMENTOS BASICOS DE LA FISICA DE AGUJEROS NEGROS	
TITLE:	MAIN ELEMENTS OF BLACK HOLE PHYSICS	
SUPERVISOR/ES:	DIEGO RUBIERA GARCIA	
NÚMERO DE PLAZAS:	1	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa X	Selección por expediente

OBJETIVOS:

Alcanzar un conjunto de conocimientos básicos sobre las propiedades geométricas y físicas de los agujeros negros. Entender las soluciones clásicas de agujero negro de Relatividad General. Conseguir una primera toma de contacto con los mecanismos físicos de agujeros negros.

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, centrandó la atención en la trinidad clásica de agujeros negros (Schwarzschild, Reissner-Nordström y Kerr-Newman) Asimismo, se discutirá la noción de las singularidades espacio-temporales, y sus consecuencias para la consistencia teórica de los agujeros negros.

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

Posteriormente el alumno especializará su trabajo en algún elemento de la física de agujeros negros de interés actual, a voluntad, contando para ello con la interacción habitual con su supervisor.

BIBLIOGRAFÍA:

M. Hobson: "General Relativity"

R. M. Wald: "General Relativity"

T. Padmanabhan: "Gravitation. Foundations and Frontiers"

P. Joshi: "Gravitational collapse and spacetime singularities"

T. Ortin: "Gravity and Strings " (Capítulos 7 y 8).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	FISICA TEORICA	
TÍTULO:	INTRODUCCION A LA FISICA DE AGUJEROS NEGROS	
TITLE:	A 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 para entenderlos. Conseguir una primera toma de contacto con los mecanismos físicos de agujeros negros.

METODOLOGÍA:

Se propondrá una búsqueda bibliográfica del desarrollo histórico del entendimiento de los agujeros negros desde la formulación de la Relatividad General hasta tiempos más recientes, proporcionándose para ello material propio, literatura básica y artículos científicos modernos, así como atención grupal e individual.

Asimismo, se propondrá al alumno diversas temáticas actuales de la física de agujeros negros para que así especialice su TFG en algún aspecto de su interés a voluntad, tales como agujeros negros con rotación, colapso gravitatorio, singularidades espacio-temporales, extensiones máximas, censura cósmica, termodinámica y radiación Hawking, aspectos astrofísicos, movimiento geodésico, ondas gravitacionales, o conexiones con gravedad cuántica. Todo ello con supervisión continua e individualizada, y con una perspectiva puramente teórica.

BIBLIOGRAFÍA:

M. Hobson: "General Relativity"

R. M. Wald: "General Relativity"

T. Padmanabhan: "Gravitation. Foundations and Frontiers"

P. Joshi: "Gravitational collapse and spacetime singularities"

T. Ortin: "Gravity and Strings" (Capítulos 7 y 8).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	FISICA TEORICA	
TÍTULO:	AGUJEROS NEGROS Y ONDAS GRAVITACIONALES	
TITLE:	BLACK HOLES AND GRAVITATIONAL WAVES	
SUPERVISOR/ES:	DIEGO RUBIERA GARCIA	
NÚMERO DE PLAZAS:	1	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa X	Selección por expediente

OBJETIVOS:

Comprender los elementos teóricos y astrofísicos más relevantes de los agujeros negros y su relevancia. Conseguir una primera toma de contacto con los mecanismos físicos de agujeros negros a través de las ondas gravitacionales generadas por la coalescencia de dos agujeros negros.

METODOLOGÍA:

Primero se estudiarán los elementos más elementales y relevantes de los agujeros negros a través de las tres soluciones clásicas de Relatividad General (con masa, carga, y momento angular), así como de otros aspectos relevantes y actuales en su descripción física. Posteriormente se propondrá al estudiante una especialización de su trabajo en la propagación y generación de ondas gravitacionales resultantes de la coalescencia de dos agujeros negros. Dicha especialización permitirá al estudiante trabajar en una de las mayores temáticas actuales en la investigación de agujeros negros. En dicho trabajo, de naturaleza puramente teórica, el estudiante tendrá interacción continua con su supervisor, para proporcionar formación y acceso a las fuentes de información relevantes.

BIBLIOGRAFÍA:

M. Hobson: "General Relativity"
R. M. Wald: "General Relativity"
T. Padmanabhan: "Gravitation. Foundations and Frontiers"
P. Joshi: "Gravitational collapse and spacetime singularities"
T. Ortin: "Gravity and Strings " (Capítulos 7 y 8).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	FISICA TEORICA	
TÍTULO:	ELEMENTOS FUNDAMENTALES DE AGUJEROS NEGROS	
TITLE:	FUNDAMENTAL INGREDIENTES ON BLACK HOLES	
SUPERVISOR/ES:	DIEGO RUBIERA GARCIA	
NÚMERO DE PLAZAS:	1	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/> X	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Proporcionar un conjunto de conocimientos básicos sobre las propiedades geométricas y físicas de los agujeros negros. Entender las soluciones clásicas de agujero negro de Relatividad General (con masa, carga y rotación). Aplicar dichas nociones a alguna problemática actual de los agujeros negros.

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, en las singularidades espacio-temporales, así como en la propagación y generación de ondas gravitacionales. Posteriormente el estudiante especializará su TFG en alguna temática de su interés, bajo recomendaciones del supervisor. Los métodos a seguir son puramente teóricos, y basados en elementos matemáticos bien conocidos en el campo.

El trabajo a realizar será individual con interacciones habituales con el supervisor para afianzar conceptos y resolver las dificultades que vayan surgiendo.

BIBLIOGRAFÍA:

- M. Hobson: "General Relativity"
- R. M. Wald: "General Relativity"
- T. Padmanabhan: "Gravitation. Foundations and Frontiers"
- P. Joshi: "Gravitational collapse and spacetime singularities"
- T. Ortin: "Gravity and Strings" (Capítulos 7 y 8).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	FISICA TEORICA	
TÍTULO:	FISICA Y ASTROFISICA DE AGUJEROS NEGROS	
TITLE:	BLACK HOLE PHYSICS AND ASTROPHYSICS	
SUPERVISOR/ES:	DIEGO RUBIERA GARCIA	
NÚMERO DE PLAZAS:	1	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Alcanzar un entendimiento básico de las propiedades físicas y astrofísicas más elementales y relevantes de los agujeros negros. Conseguir una primera toma de contacto con los mecanismos físicos de agujeros negros.

METODOLOGÍA:

Se empezará por una primera toma de contacto con la física de agujeros negros en sus elementos matemáticos e históricos más relevantes. Asimismo, se estudiarán las tres soluciones clásicas de agujeros negros (con masa, carga, y rotación), y se discutirán temas más avanzados, tales como singularidades espacio-temporales y extensiones máximas, propiedades dinámicas, termodinámica, aspectos astrofísicos con especial atención a la detección de agujeros negros, movimiento geodésico, etc. Posteriormente el estudiante especializará su trabajo en algún tema de su interés, a sugerencias del supervisor dentro de una amplia variedad de temáticas de investigación actual, contando para ello con interacción continua con el supervisor. El trabajo es puramente teórico, basado en una primera aproximación a los métodos modernos en esta área.

BIBLIOGRAFÍA:

M. Hobson: "General Relativity"
R. M. Wald: "General Relativity"
T. Padmanabhan: "Gravitation. Foundations and Frontiers"
P. Joshi: "Gravitational collapse and spacetime singularities"
T. Ortin: "Gravity and Strings " (Capítulos 7 y 8).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2020-21

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:	1	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente

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 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica	
TÍTULO:	Epidemiología: las ecuaciones diferenciales	
TITLE:	Epidemiology: the differential equations	
SUPERVISOR/ES:	F.J. Chinae	
NÚMERO DE PLAZAS:	2	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa: 1	Selección por expediente: 1

OBJETIVOS: Las epidemias han supuesto históricamente una amenaza para la Humanidad. Tucídides ya da cuenta de la sufrida en Atenas entre los años 430 y 426 A.C., y han sido descritas de forma magistral por literatos como Boccaccio, Mann o Camus. La epidemiología admite una formulación cuantitativa (matemática), más allá del mero registro estadístico o actuarial. En particular, se adapta bien a la utilización de ecuaciones diferenciales, ya sean ecuaciones ordinarias, en el enfoque más sencillo, o en derivadas parciales, cuando se pretende incorporar los aspectos causales o difusivos de la propagación/contagio. El objetivo del trabajo es fundamentar el uso de dicho lenguaje matemático y de sus consecuencias, acudiendo a las referencias pertinentes, manejando conceptos de actualidad como el *número reproductivo básico*. Es deseable también, en la medida de lo posible, trascender los aspectos “cinemáticos” que componen la mayoría de las noticias a las que se dedican los medios de comunicación, poniendo de relieve también aquellos otros aspectos dinámicos que dan cuenta de la difusión de una epidemia, dependiendo de la localización espacial y temporal. Será interesante señalar aspectos que surgen del uso de ecuaciones diferenciales, como periodicidad y caos.

METODOLOGÍA: Consulta y análisis de las referencias pertinentes (y de las que se estimen convenientes), para elaborar una descripción coherente y didáctica de los aspectos mencionados más arriba.

BIBLIOGRAFÍA:

Maia Martcheva: *An Introduction to Mathematical Epidemiology*, Springer, 2015
H.W. Hethcote: *The Mathematics of Infectious Diseases*, SIAM Review **42**, 599-653 (2000)
https://www.researchgate.net/publication/216632172_The_Mathematics_of_Infectious_Diseases
O. Diekmann, J.A.P. Heesterbeek: *Mathematical Epidemiology of Infectious Diseases*, Wiley, 2000
W.O. Kermack, A.G. McKendrick, *Contributions to the mathematical theory of epidemics, Part 1*, Proc. Roy. Soc. London Ser. A **115**, 700-721 (1927)



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica
TÍTULO:	El espacio-tiempo de Kerr
TITLE:	The Kerr spacetime
SUPERVISOR/ES:	F.J. Chinae
NÚMERO DE PLAZAS:	2
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input type="checkbox"/> Selección por expediente <input type="checkbox"/> 1 1

OBJETIVOS:

Las tres soluciones exactas más importantes de la ecuaciones de Einstein para campos gravitatorios en vacío son sin duda 1) el espacio-tiempo de Minkowski (que corresponde a la relatividad especial); 2) la solución de tipo coulombiano encontrada por Karl Schwarzschild en 1916 (poco después de la culminación de la formulación de la teoría por Einstein), que representa el campo gravitatorio engendrado por una masa “puntual”, como el Sol, y 3) el campo gravitatorio de un agujero negro en rotación estacionaria, para lo que hubo que esperar a 1963, siendo esta identificación encontrada a posteriori, mediante la aproximación introducida desde las etapas tempranas de la teoría por parte de Lense y Thirring . Es curioso que no se haya encontrado una solución exacta para el caso aparentemente más sencillo de un planeta convencional en rotación. Se pide analizar de forma didáctica las diversas características de la solución de Kerr, incluyendo su unicidad, la presencia de dos vectores de Killing independientes, y de un horizonte de sucesos y una ergoesfera, así como su estructura de singularidades y causal.

METODOLOGÍA:

Manejo de la bibliografía señalada y de cualesquiera otras referencias que se estimen pertinentes. También es deseable reobtener los resultados analíticos exactos mediante *gtrtensor* y Maple o Mathematica.

BIBLIOGRAFÍA:

Roy P. Kerr, *Gravitational Field of a Spinning Mass as an Example of Algebraically Special Metrics*, Phys. Rev. Lett. **11**, 237 (1963)

Matt Visser, *The Kerr spacetime: A brief introduction* arXiv:0706.0622v3 [gr-qc] 15 Jan 2008

Subrahmanyan Chandrasekhar, *The Mathematical Theory of Black Holes*, (Oxford University Press, 1998)

R. H. Boyer and R. W. Lindquist, *Maximal Analytic Extension of the Kerr Metric*, J. Math. Phys. **8**, 265 (1967)

B. Carter, *Global Structure of the Kerr family of Gravitational Fields*, Phys. Rev. **5**, 1559 (1968)

M. Heusler, *Black Hole Uniqueness Theorems*, Cambridge University Press, 2008

No esencial (histórica)

J. Lense and H. Thirring, “Über den Einfluss der Eigenrotation der Zentralkörper auf die Bewegung der Planeten und Monde nach der Einsteinschen Relativitätstheorie,” Phys. Zeitschr. **19**, 156 (1918)

Karl Schwarzschild, “Über das Gravitationsfeld eines Massenpunktes nach der Einsteinschen Theorie”, Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften, 1916 vol. I, 189–196.

Herbert Pfister, “On the history of the so-called Lense–Thirring effect”,

<http://philsci-archive.pitt.edu/archive/00002681/01/lense.pdf>



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2020-21

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 X	Selección por expediente

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 (rotación lenta, modos cuasi-normales de oscilación, radiación gravitacional,...).

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 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica
TÍTULO:	Ondas en el agua
TITLE:	Water Waves
SUPERVISOR/ES:	Manuel Mañas Baena
NÚMERO DE PLAZAS:	2
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/> Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Entender los principios físicos y técnicas matemáticas para la descripción y análisis de las ondas en el agua.

METODOLOGÍA:

Para las ecuaciones de Euler para un fluido ideal irrotacional se considera un problema de frontera libre para la ola en el agua. Aplicando técnicas de escalas múltiples se deriva la ecuación de Korteweg-de Vries para ondas longitudinales en aguas someras, y la ecuación de Kadomtsev-Petviashvili para el caso en que se permita una transversalidad débil. Estudio del caso de aguas profundas y la ecuación de Schrödinger no lineal.

La metodología es el estudio de temas seleccionada de la bibliografía y búsqueda bibliográfica adicional.

BIBLIOGRAFÍA:

- Mark J. Ablowitz, *Nonlinear Dispersive Waves*. Cambridge University Press (2011).
- R. S. Johnson, *A Modern Introduction to the Mathematical Theory of Water Waves*, Cambridge University Press (1997).
- G. K. Batchelor, *An Introduction to Fluid Dynamics*, Cambridge University Press (2007).
- Sir Horace Lamb, *Hydrodynamics*, Dover (1945).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2020-21

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:	2	
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 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	FÍSICA TEÓRICA	
TÍTULO:	Colapso estelar y ondas gravitatorias	
TITLE:	Stellar collapse and gravitational waves	
SUPERVISOR/ES:	Luis J. Garay	
NÚMERO DE PLAZAS:	1	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Se estudiará el colapso estelar esféricamente simétrico en relatividad general típicamente descrito por el modelo de Oppenheimer y Snyder. A continuación se considerarán perturbaciones alrededor de esta configuración. En el proceso de colapso se emiten ondas gravitatorias que se pueden describir precisamente mediante el estudio de la evolución de dichas perturbaciones.

METODOLOGÍA:

Estudio de la bibliografía recomendada, análisis del estatus actual a través de algunos artículos científicos sobre el tema y cálculos perturbativos tanto analíticos como numéricos.

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

BIBLIOGRAFÍA:

- Eric Poisson, A Relativist's Toolkit: The Mathematics of Black-Hole Mechanics, Cambridge, 2007
- Michelle Maggiore, Gravitational Waves: Volumes 1 & 2, Oxford, 2018



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica
TÍTULO:	Física Cuántica en Espacio de Fases
TITLE:	Quantum Physics in Phase Space
SUPERVISOR/ES:	José Alberto Ruiz Cembranos
NÚMERO DE PLAZAS:	3
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/> Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

La descripción más elegante de la física clásica consiste en su formulación en el espacio de fases. Esta formulación, trata en pie de igualdad posiciones y momentos simultáneamente. Sin embargo, desde el artículo de W. Heisenberg en 1927, sobre el denominado principio de incertidumbre, la idea de poder realizar el mismo planteamiento dentro de la física cuántica se puso en cuestión.

La física cuántica sí admite un tratamiento simultáneo de posiciones y momentos. Aunque los primeros trabajos sobre el tema se remontan a los avances de H. Weyl, E. Wigner, H. Groenewold y J. Moyal en los años 30 y 40, la formulación cuántica en espacio de fases aún no se ha generalizado en los programas docentes ni en los grados ni en los postgrados de física.

En este trabajo se trata de analizar la mencionada formulación de la física cuántica atendiendo tanto a sus conceptos fundamentales tales como:

1. La función de quasi-probabilidad de Wigner,
2. La transformada de Segal-Bargmann,
3. La función de quasi-probabilidad de Husimi,
4. El producto estrella o producto de Moyal,

como a sus problemas abiertos :

1. La formulación relativista,
2. La teoría cuántica de campos,
3. El tratamiento de campos fermiónicos.



En este trabajo se tratarán de analizar estos problemas individualmente y las relaciones que puedan establecerse entre ellos.

METODOLOGÍA:

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 asociadas a la física cuántica. En este sentido, es muy recomendable que el alumno esté matriculado en (o haya superado) las asignaturas optativas de cuarto: “Mecánica Teórica” y “Campos Cuánticos”.

En particular, el estudiante desarrollará un trabajo fundamentalmente teórico sobre el formalismo de la física y la mecánica cuántica. Para ello, establecerá y desarrollará los conceptos básicos de la teoría utilizando como variables posiciones y momentos simultáneamente. Con tal objetivo, el alumno leerá una serie de referencias cuyos resultados deberá reproducir, interpretar y desarrollar en distintos contextos dependiendo del trabajo concreto.

BIBLIOGRAFÍA:

- [1] H. J. Groenewold, "On the Principles of elementary quantum mechanics", *Physica*, **12** (1946) pp. 405–460. doi:10.1016/S0031-8914(46)80059-4 (<https://doi.org/10.1016%2FS0031-8914%2846%2980059-4>).
- [2] J. E. Moyal, "Quantum mechanics as a statistical theory", *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, **45** (1949) pp. 99–124. doi:10.1017/S0305004100000487 (<https://doi.org/10.1017%2FS0305004100000487>).
- [3] H. Weyl, "Quantenmechanik und Gruppentheorie", *Zeitschrift für Physik*, **46** (1927) pp. 1–46, doi:10.1007/BF02055756 (<https://doi.org/10.1007%2FBF02055756>).
- [4] E. P. Wigner, "On the quantum correction for thermodynamic equilibrium", *Phys. Rev.* **40** (June 1932) 749–759. doi:10.1103/PhysRev.40.749 (<https://doi.org/10.1103%2FPhysRev.40.749>).
- [5] Curtright, T. L.; Zachos, C. K. (2012). "Quantum Mechanics in Phase Space". *Asia Pacific Physics Newsletter*. **01**: 37–46. arXiv:1104.5269
- [6] Cohen, L. (1966). "Generalized Phase-Space Distribution Functions". *Journal of Mathematical Physics*. **7** (5): 781–786. Bibcode:1966JMP.....7..781C (<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1966JMP.....7..781C>). doi:10.1063/1.1931206 (<https://doi.org/10.1063%2F1.1931206>).



- [7] G. Baker, "Formulation of Quantum Mechanics Based on the Quasi-probability Distribution Induced on Phase Space," *Physical Review*, **109** (1958) pp. 2198–2206. doi:10.1103/PhysRev.109.2198 (<https://doi.org/10.1103%2FPhysRev.109.2198>)
- [8] Fairlie, D. B. (1964). "The formulation of quantum mechanics in terms of phase space functions". *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*. **60** (3): 581–586.
- [9] C. L. Mehta "Phase-Space Formulation of the Dynamics of Canonical Variables", *J. Math. Phys.*, **5** (1964) pp. 677–686. doi:10.1063/1.1704163 (<https://doi.org/10.1063%2F1.1704163>)
- [10] M. Oliva, D. Kakofengitis, and O. Steuernagel (2018). "Anharmonic quantum mechanical systems do not feature phase space trajectories". *Physica A*. **502**: 201–210. arXiv:1611.03303
- [11] Marinov, M.S. (1991). "A new type of phase-space path integral". *Physics Letters A*. **153** (1): 5–11. Bibcode:1991PhLA..153....5M (<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1991PhLA..153....5M>). doi:10.1016/0375-9601(91)90352-9 (<https://doi.org/10.1016%2F0375-9601%2891%2990352-9>).
- [12] Curtright, T. L. Time-dependent Wigner Functions (<http://www.physics.miami.edu/~curtright/TimeDependentWignerFunctions.html>)



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

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

OBJETIVOS:

Realizar una introducción teórica a la información y computación cuánticas, explicando sus principios fundamentales y su relación con la computación clásica. Poner en contexto el resultado de supremacía cuántica (de forma teórica) y realizar una simulación similar a menor escala.

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) *"Information and Computation: Classical and Quantum aspects"* Galindo, A., Martin-Delgado, M.A., Rev. Mod. Phys. 74, 347 (2002)
- 2) *"Quantum Computation and Quantum Information"* Nielsen, M.A., I.L. Chuang, Cambridge Univ. Press 2000
- 3) *"Elementary gates for quantum computation"* Barenco, A., Bennet, C.H., Cleve, R. et al., Phys. Rev. A 52, 3457-3467
- 4) *"Characterizing quantum supremacy in near-term devices"* Boixo, S., Isakov, S.V., Smelyanskiy, V.N. et al., Nature Phys. 14, 595-600, 2018
- 5) *"Quantum supremacy using a programmable superconducting processor"* Arute, F., Arya, K. Babbush, R. et al., Nature 574, 505-510, 2019



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2020-21

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 Angel 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 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:	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, así como 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. Después nos centraremos, como formalismo particular, en la cuantización canónica de la relatividad general. Para tener una visión del problema más concreta, abordaremos la cuantización de un modelo cosmológico sencillo, que desarrollaremos mediante diferentes procedimientos de cuantización canónica y los compararemos.

METODOLOGÍA:

Estudio del estatus 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.
- Approaches to Quantum Gravity, edited by Daniele Oriti, Cambridge University Press, 2009.
- 100 Years of General Relativity: volume 4 (Loop Quantum Gravity: the first 30 years). Editores: Abhay Ashtekar & Jorge Pullin, World Scientific, 2017.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Departamento de Física Teórica	
TÍTULO:	Modelos de inflación cósmica y observaciones	
TITLE:	Models of Cosmological Inflation and Observations	
SUPERVISOR/ES:	Dr. Mindaugas Karčiauskas	
NÚMERO DE PLAZAS:	4	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa	Selección por expediente X

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. Coles P. and Lucchin F. "Cosmology: the origin and evolution of cosmic structure", Wiley, 1995
2. David H. Lyth and Andrew R. Liddle, "The Primordial Density Perturbation: Cosmology, Inflation and the Origin of Structure", Cambridge University Press, 2009
3. Scott Dodelson, "Modern Cosmology", Academic Press 2003
4. Steven Weinberg, "Cosmology", Oxford University Press, 2008
5. P.A.R Ade et al., "Planck 2013 results. XXII. Constraints on inflation", *Astron.Astrophys.* 571 (2014) A22
6. Y. Akrami et al., "Planck 2018 results. X. Constraints on inflation", arXiv:1807.06211 [astro-ph.CO]



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2020-21

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 2020-21

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 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica
TÍTULO:	Neutrinos. Oscilaciones, masas, naturaleza y violación de CP
TITLE:	Neutrinos. Oscillations, masses, nature and CP violation.
SUPERVISOR/ES:	Antonio Dobado
NÚMERO DE PLAZAS:	2
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input type="checkbox"/> Selección por expediente <input checked="" type="checkbox"/>

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.

BIBLIOGRAFÍA:

Neutrino physics - Theory, Walter Grimus (Jul 11, 2003)

Lect. Notes Phys. 629 (2004) 169-214 1st 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 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica
TÍTULO:	Ondas gravitatorias y su detección
TITLE:	Gravitational waves and its detection
SUPERVISOR/ES:	Antonio Dobado
NÚMERO DE PLAZAS:	2
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input type="checkbox"/> Selección por expediente <input checked="" type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Obtener una comprensión teórica de las ondas gravitatorias en el contexto de la relatividad general. Mecanismos de producción astrofísicos y cosmológicos así como de los sistemas que han permitido su descubrimiento y el estudio de sus propiedades. Potencial como herramienta de observación astrofísica.

METODOLOGÍA:

Revisión de la bibliografía existente y otros recursos de internet.

BIBLIOGRAFÍA:

C. W. Misner, K. S. Thorne and J. A. Wheeler, 1973, *Gravitation*, W.H. Freeman, San Francisco.

T. Padmanabhan, 2010, *Gravitation*, Cambridge University Press.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica
TÍTULO:	Introducción a la teoría de dispersión
TITLE:	Introduction to Scattering Theory
SUPERVISOR/ES:	Profesor Ayudante Doctor (a determinar)
NÚMERO DE PLAZAS:	5
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 la Mecánica Cuántica, así como en la Física Nuclear y 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 colisiones, 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:

- J.R. Taylor, Scattering Theory, The Quantum Theory of Nonrelativistic Collisions. John Wiley & Sons. 1972
- 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



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica	
TÍTULO:	Geometría del monopolo magnético	
TITLE:	Geometry of the magnetic monopole	
SUPERVISOR/ES:	Rafael Hernández Redondo	
NÚMERO DE PLAZAS:	2	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

- Estudio de la solución de monopolo de Dirac a las ecuaciones de Maxwell. Obtener la condición de cuantización de Dirac y la dualidad eléctrica-magnética.
- Analizar la descripción de Wu y Yang de la estructura topológica del monopolo de Dirac. Descripción del monopolo como un fibrado principal.
- Extender el análisis en términos de fibrados principales al instantón de Yang-Mills.
- Estudiar el monopolo de 't Hooft-Polyakov y su relación con los grupos de homotopía.

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:

- P. A. M. Dirac, "Quantized Singularities in the Electromagnetic Field", Proc. Roy. Soc. Lond. A 133, (1931) 60.
- P. Goddard and D. I. Olive, "New Developments in the Theory of Magnetic Monopoles", Rept. Prog. Phys. 41 (1978) 1357.
- T. Eguchi, P. B. Gilkey and A. J. Hanson, "Gravitation, Gauge Theories and Differential Geometry", Phys. Rept. 66 (1980) 213.
- M. Nakahara, "Geometry, Topology and Physics", Graduate Student Series in Physics, Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, 2003.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física teórica	
TÍTULO:	Estudio de procesos hadrónicos en colisionadores	
TITLE:	Hadronic processes in colliders	
SUPERVISOR/ES:	Ignazio Scimemi	
NÚMERO DE PLAZAS:	1	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

En el trabajo se empezará el estudio de procesos hadrónicos en colisionadores de altas energías. Entre los procesos destacan Drell-Yan, Deep-Inelastic Scattering, $e+e-$ en hadrones. Para el estudio de estos procesos se considerarán los métodos de teorías efectivas como soft-collinear-effective-theory. Se podrán considerar procesos que dependan del spin de los hadrones o bien de sus constituyentes, jets, mesones pesados.

METODOLOGÍA:

Para abordar este estudio es necesario introducir los métodos de teorías efectivas en teoría de campos. Estos métodos necesitan varias herramientas matemáticas como transformadas de Fourier/Laplace, teoría de distribuciones y de física teórica como diagramas de Feynman, teorías de campos perturbativas. A través del estudio de textos originales y algunos ejercicios, se llega a una expresión del formalismo cuyas consecuencias físicas serán estudiadas. Se podrán desarrollar pequeños códigos para ilustrar a través de plots 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

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

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]



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física teórica
TÍTULO:	Reacciones de alta energía en física de partículas y astrofísica
TITLE:	High-energy reactions in particle physics and astrophysics
SUPERVISOR/ES:	Vincent Mathieu
NÚMERO DE PLAZAS:	3
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input type="checkbox"/> Selección por expediente <input checked="" type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Entender los mecanismos de producción de partículas en la atmosfera y en los laboratorios.

METODOLOGÍA:

Leer y resumir artículos y capítulos de libros relevantes.

Entender la física detrás de los modelos.

Reproducir modelos describiendo los datos.

Se aconseja de contactar el supervisor para hablar más en detalles.

BIBLIOGRAFÍA:

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

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



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física teórica
TÍTULO:	Estudio de las propiedades del protón
TITLE:	Study of properties of the proton
SUPERVISOR/ES:	Vincent Mathieu
NÚMERO DE PLAZAS:	2
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input type="checkbox"/> Selección por expediente <input checked="" type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Entender las propiedades mecánicas (momento angular de sus componentes, ...) y termodinámicas (presión, energía, ...).

METODOLOGÍA:

Leer y resumir artículos y capítulos de libros relevantes.

Entender la física detrás de los modelos.

Reproducir modelos describiendo los datos.

Se aconseja de contactar el supervisor para hablar más en detalles.

BIBLIOGRAFÍA:

Leader and Lorcé, "The angular momentum controversy: What's it all about and does it matter?", Phys. Rep. 541 (2014) 3, 163-248

Burkert, Elouadrhiri and Girod, "The pressure inside the proton", Nature 557 (2018) 7705, 396-399

Lorcé, Moutarde and Trawinski, "Revisiting the mechanical properties of the nucleon", Eur. Phys. J. C (2019) 79:89

Polyakov and Schweiter, "Forces inside hadrons: Pressure, surface tension, mechanical radius, and all that", Int. J. Mod. Phys. A 33 (2018) 26, 1830025



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física teórica
TÍTULO:	Aprendizaje automático aplicado la física de partículas y la astrofísica
TITLE:	Machine learning applied to particle physics and astrophysics
SUPERVISOR/ES:	Vincent Mathieu
NÚMERO DE PLAZAS:	2
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input type="checkbox"/> Selección por expediente <input checked="" type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Desarrollar redes neuronales describiendo colisiones de partículas

METODOLOGÍA:

Leer y entender artículos y capítulos de libros sobre el aprendizaje automático. Utilizar Python (o otros lenguajes) para desarrollar una red neuronal, entrenarlo con datos y comprobar su calidad.

Se aconseja de contactar el supervisor para hablar más en detalles.

BIBLIOGRAFÍA:

Mohri, Rostamizadeh and Talwalkar, "Foundations of Machine Learning", MIT Press, second edition, 2018.

Shalev-Shwartz and Ben-David, "Understanding Machine Learning: From Theory to Algorithms", Cambridge University Press, 2014.

Forte et al, "Neural network parametrization of deep-inelastic structure functions", JHEP05 (2002) 062



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica	
TÍTULO:	Una introducción a fluidos relativistas.	
TITLE:	An introduction to relativistic fluids.	
SUPERVISOR/ES:	Fernando Ruiz Ruiz	
NÚMERO DE PLAZAS:	1	
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente

OBJETIVOS:

Entender los principios básicos de la descripción de fluidos y de su acoplamiento a campos gravitatorios

METODOLOGÍA:

Se pretende que el alumno sea capaz de forma autónoma de estudiar, entender y reproducir conocimientos propios del tema, entre los que cabe mencionar la descripción macroscópica de fluidos en relatividad especial, sus propiedades termodinámicas, su acoplamiento a campos gravitatorios y algunas aplicaciones cosmológicas.

BIBLIOGRAFÍA:

S. Weinberg, Gravitation and Cosmology, ed. J. Wiley (Nueva York 1972).

N. Andersson, G. L. Comer, Relativistic fluid dynamics: physics for many different scales, Living Rev. Rel. **10** (2005) 1, DOI:10.12942/lrr-2007-1, arXiv:gr-qc/0605010.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica
TÍTULO:	Introducción al Efecto Gibbs en Series de Fourier.
TITLE:	An introduction to Gibbs Phenomenom in Fourier Analysis
SUPERVISOR/ES:	María Jesus Rodríguez Plaza
NÚMERO DE PLAZAS:	1
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/> Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Estudiar el efecto Gibbs en funciones sencillas con discontinuidades de primera especie.

METODOLOGÍA:

El alumno deberá leer unas referencias básicas y reproducir con un programa de manipulación algebraica ejemplos simples, donde se observe la anchura y altura del efecto y su variación con el numero de términos considerados en las sumas parciales.

BIBLIOGRAFÍA:

Strauss, Walter A.: Partial Differential Equations, an Introduction.
John Wiley & Sons, 2007.

Jerri, A.J., The Gibbs Phenomenon in Fourier Analysis,
Splines and Wavelet Approximations. Springer Science and Bussiness Media, 1998



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2020-21

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:	1
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 realidad objetiva.
- Estudiar resultados clásicos tales como las distribuciones 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 algún resultado reciente en este campo, por ejemplo: la teoría operacional de la coherencia, las medidas débiles y no destructivas, el teorema PBR, la paradoja de Frauchinger-Renner, o el "darwinismo" cuántico.

METODOLOGÍA:

Es imprescindible que el alumno haya cursado la asignatura de "Mecánica Cuántica" (o su equivalente ERASMUS). Cierta conocimiento de óptica cuántica al nivel de la asignatura "Coherencia Óptica y Laser" podría resultar útil.

Después de acordar con el supervisor la línea a desarrollar, el alumno dedicará tiempo a revisar la literatura a fin de comprender los conceptos implicados en el trabajo. 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).
- D. F. Walls and G. J. Milburn, "Quantum Optics", Springer, 2008.
- 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 2020-21

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:	1
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 descoherencia, 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 imprescindible que el alumno haya cursado la asignatura de “Mecánica Cuántica” (o su equivalente ERASMUS).

Después de acordar con el supervisor la línea a desarrollar, 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 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica
TÍTULO:	¿Podemos ver el plasma de quarks y gluones con piones?
TITLE:	Can we see the quark-gluon plasma with pions?
SUPERVISOR/ES:	Felipe J. Llanes Estrada
NÚMERO DE PLAZAS:	2
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/> Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Calcular la profundidad óptica del gas hadrónico formado tras la colisión de iones pesados, para apreciar cuantos piones de los observados en ALICE en el LHC vienen directamente de la transición al plasma de quarks y gluones (análogamente a los fotones del fondo cósmico de microondas, desacoplados tras la gran explosión) y cuántos interaccionaron en el estado final, perdiendo información sobre su origen .

METODOLOGÍA:

El alumno recibirá un pequeño programa en Python que deberá extender hasta completar una parametrización de la interacción pión-pión (ref. 3). Con la sección eficaz así calculada, podrá estimar la opacidad del gas de piones a la propagación de un pión y ver qué porcentaje de los piones recibidos en un detector en el LHC han interaccionado en el estado final, y cuántos se han desacoplado en instantes tempranos y permiten acceder a la desintegración del plasma de quarks y gluones. Utilizará modelos genéricos de las colisiones de iones pesados (ref. 2). En una fase más avanzada y opcional podrá intentar ver la deformación de las distribuciones de los momentos \mathbf{p} de los piones y si alguna corrección a los datos experimentales ("gafas") mejoran la información que nos aportan del plasma primordial. Requiere buena comprensión de la asignatura de Mecánica Cuántica y se recomienda matricular Partículas Elementales y Campos Cuánticos. El alumno escribirá un trabajo claro, preciso, y libre de errores ortográficos y gramaticales (ref. 1).

BIBLIOGRAFÍA:

- 1.- **The Elements of Style**, de William Strunk JR. y E.B. White, (cualquier edición es válida). Lectura para escribir de manera clara y concisa un trabajo universitario.
- 2.- **Phenomenology Of Ultra-relativistic Heavy-ion Collisions** de Wojciech Florkowski, World Scientific (2010). Tratado completo sobre las colisiones de iones pesados y obra de referencia para este trabajo.
- 3.- R. García-Martín et al., Phys.Rev.D **83** (2011) 074004 e-Print: 1102.2183 [hep-ph]. Presenta una parametrización de las interacciones entre piones.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica
TÍTULO:	Réplicas del vacío en QCD y espectroscopía paralela
TITLE:	Vacuum replicas of QCD and parallel spectroscopy
SUPERVISOR/ES:	Felipe J. Llanes Estrada
NÚMERO DE PLAZAS:	2
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/> Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Explorar falsos vacíos (mínimos locales de la energía) de QCD en modelos del gauge de Coulomb, y examinar la espectroscopía de los hadrones construidos sobre ellos (en paralelo a los hadrones sobre el vacío absoluto).

Requiere una buena comprensión de la asignatura de Mecánica Cuántica.

METODOLOGÍA:

El alumno recibirá y mejorará un programa informático en Fortran que resuelve la ecuación del salto de energía de BCS y le permite calcular la densidad de energía de un estado respecto al vacío trivial de la teoría de campos. Una vez localizados el mínimo absoluto y uno o más mínimos locales (ref. 2), dibujará la superficie de energía, verá si el falso vacío se puede alcanzar como una excitación colectiva escalar y con qué coste energético, y qué mesones simples se pueden construir sobre ese falso vacío, para lo que recibirá otro par de programas que resuelven las ecuaciones de TDA y RPA para los mesones compuestos de un par quark-antiquark, y extraerá conclusiones sobre el espectro excitado de hadrones sobre el falso vacío.

El alumno escribirá un trabajo claro, preciso, y libre de errores ortográficos y gramaticales (ref. 1).

BIBLIOGRAFÍA:

1.- The Elements of Style, de William Strunk JR. y E.B. White, (cualquier edición es válida). Lectura para escribir de manera clara y concisa un trabajo universitario.

2.- QCD vacuum replicas are metastable, P. Bicudo, J.Ribeiro 1912.11476 [hep-ph]

3.- Coulomb Gauge QCD and the Excited Hadron Spectrum

Felipe J. Llanes-Estrada et al. Fizika B 20 (2011) 63-74 Contribution to: 3rd Intnl.

Conf. on Nuclear and Particle Physics with CEBAF at Jefferson Lab (NAPP 2010)

e-Print: 1012.5704 [hep-ph]



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2020-21

Ficha de Trabajo Fin de Grado

DEPARTAMENTO:	Física Teórica
TÍTULO:	Curvas galácticas de rotación y distribución anisotrópica de la presunta materia oscura.
TITLE:	Galactic rotation curves and anisotropic distribution of presumed dark matter.
SUPERVISOR/ES:	Felipe J. Llanes Estrada
NÚMERO DE PLAZAS:	2
ASIGNACIÓN DE TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/> Selección por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Explorar distintos modelos mecánicos sencillos de la posible distribución no esférica de materia oscura (en lugar de los halos galácticos esféricos) para explicar las curvas de rotación medidas por la colaboración SPARC.

METODOLOGÍA:

El alumno se familiarizará con las curvas de rotación galáctica, el fallo de la tercera ley de Kepler a la hora de describirlas con la distribución visible de masa, el presunto halo galáctico de materia oscura y la posibilidad de modificar la gravedad (MOND) para explicar esas curvas de rotación. Como trabajo concreto tomará las curvas de rotación observadas (ref. 2) y las ajustará a distintos modelos de la distribución de materia oscura con simetría cilíndrica pero no esférica (ref. 3) que se espera proporcionen ajustes más sencillos. Podrá utilizar MINUIT en Fortran para realizar los ajustes o esquemas similares de computación.

Requiere una excelente comprensión de las asignaturas de Mecánica Clásica y Astrofísica. Se recomienda matricular simultáneamente Relatividad General, Cosmología y Partículas Elementales.

El alumno escribirá un trabajo claro, preciso, y libre de errores ortográficos y gramaticales (ref. 1).

BIBLIOGRAFÍA:

1.- The Elements of Style, de William Strunk JR. y E.B. White, (cualquier edición es válida). Lectura para escribir de manera clara y concisa un trabajo universitario.

2.- SPARC: Mass Models for 175 Disk Galaxies with Spitzer Photometry and Accurate Rotation Curves, de F. Lelli, S. McGaugh, J. Schombert, The Astronomical Journal, 152 157 (2016). <http://astroweb.cwru.edu/SPARC/>

3.- Flat galaxy rotation curves naturally follow from dark matter filaments
Felipe J. Llanes-Estrada, preprint 2020 disponible en Research Gate con DOI: 10.13140/RG.2.2.35022.41289