



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica	
<b>Título:</b>	El flujo de Ricci en espacios maximalmente simétricos	
<b>Title:</b>	Ricci flow in maximally symmetric spaces	
<b>Supervisor/es:</b>	Gabriel Álvarez Galindo	
<b>E-mail supervisor/es</b>	galvarez@ucm.es	
<b>Número de plazas:</b>	1	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

- Estudiar el concepto de flujo de Ricci de una métrica riemanniana.
- Estudiar soluciones elementales del flujo de Ricci.
- Visualizar gráficamente, en casos en los que es posible, el flujo.
- Estudiar el flujo en espacios maximalmente simétricos, tanto de curvatura positiva (de Sitter) como negativa (anti de Sitter).

### Metodología:

Reuniones periódicas con el supervisor, que asignará paulatinamente las tareas correspondientes a cada uno de los objetivos. La realización de estas tareas requiere el uso de un programa de cálculo simbólico, sobre cuyo funcionamiento también se instruirá al estudiante.

### Bibliografía:

1. B. Chow and D. Knopf, *The Ricci flow: An introduction*, AMS, Providence, R. I. (2004).
2. J. H. Rubinstein and R. Sinclair, *Visualizing Ricci Flow of Manifolds of Revolution*, *Experimental Mathematics* **14**, 285 (2000).
3. S. M. Carroll, *Spacetime and Geometry*, Cambridge University Press, Cambridge (2019).
4. R. Cartas-Fuentevilla, A. Herrera-Aguilar and J. A. Olvera-Santamaría, *Evolution and metric signature change on maximally symmetric spaces under the Ricci flow*, *Eur. Phys. J. Plus* **133**, 235 (2018).



## FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

### Ficha de Trabajo Fin de Grado

<b>DEPARTAMENTO:</b>	FÍSICA TEÓRICA
<b>TÍTULO:</b>	Cosmología con cartografiados extragalácticos
<b>TITLE:</b>	Cosmology with extragalactic surveys
<b>SUPERVISOR/ES:</b>	Jacobo Asorey Barreiro
<b>e-mail Supervisor/es</b>	jasorey@gmail.com
<b>NÚMERO DE PLAZAS:</b>	1
<b>ASIGNACIÓN DE TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/> Selección por expediente <input type="checkbox"/>

#### OBJETIVOS:

La cosmología es uno de los principales campos que actualmente nos permite validar nuevos modelos o extensiones al modelo estándar, principalmente cuando tratamos de describir la física a escalas cosmológicas. Este Trabajo Fin de Grado propone la revisión de distintas predicciones teóricas cosmológicas y su comparación con distintos tipos de observables cosmológicos: supernovas de tipo Ia, radiación cósmica de fondo, ondas gravitacionales y la distribución de estructura a gran escala, obtenida con cartografiados extragalácticos.

En el trabajo se abordará el desarrollo analítico de algunos modelos cosmológicos y luego se procederá a comparar con datos para poder determinar que modelo se ajusta mejor a los datos. Los objetivos principales del trabajo serían:

1. Derivar y representar las distintas historias de expansión y crecimiento de estructuras para distintos modelos cosmológicos.
2. Representar distintas observaciones cosmológicas, profundizando en como se han determinado. En particular, se podrá enfocar el trabajo sobre el desarrollo de los funcionales de Minkowski como observables cosmológicos que describen la topología de la distribución de estructura a gran escala.
3. Finalmente, comparar o ajustar las funciones teóricas derivadas con las observaciones para determinar los parámetros cosmológicos que mejor se ajustan y evaluar los resultados.

#### METODOLOGÍA:

El alumno hará una revisión bibliográfica del tema, derivando algunas de las ecuaciones teóricas más comunes en cosmología como la historia de la expansión del Universo para



varios modelos. Posteriormente, usará datos cosmológicos para ajustar los distintos modelos y ver cuales se ajustan mejor a las observaciones. En particular, el trabajo se podrá enfocar al uso de los funcionales de Minkowski como observables cosmológicos al utilizar la topología de la distribución de materia para extraer información cosmológica.

#### **BIBLIOGRAFÍA:**

- E. Abdalla et al., "Cosmology intertwined: A review of the particle physics, astrophysics, and cosmology associated with the cosmological tensions and anomalies", JHEAp 34 (2022) 49-211
- T. Matsubara, Statistics of smoothed cosmic fields in perturbation theory I: Formulation and useful formulas in second-order perturbation theory, arXiv: astro-ph/0006269
- C. Blake, Using the topology of large-scale structure in the WiggleZ Dark Energy Survey as a cosmological standard ruler, MNRAS, 437, 2488
- D. Brout et al., The Pantheon+ Analysis: Cosmological Constraints, arXiv:2202.04077
- S. Alam et al., Completed SDSS-IV extended Baryon Oscillation Spectroscopic Survey: Cosmological implications from two decades of spectroscopic surveys at the Apache Point Observatory, Physical Review D, Volume 103, Issue 8, article id.083533
- DES Collaboration, T. M. C. Abbott et al., Dark Energy Survey Year 3 results: Cosmological constraints from galaxy clustering and weak lensing, Physical Review D, Volume 105, Issue 2, article id.023520



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física teórica	
<b>Título:</b>	FÍSICA ESTADÍSTICA DEL APRENDIZAJE NO SUPERVISADO	
<b>Title:</b>	STATISTICAL PHYSICS OF UNSUPERVISED LEARNING	
<b>Supervisor/es:</b>	Aurélien Decelle	
<b>E-mail supervisor/es</b>	<a href="mailto:adecelle@ucm.es">adecelle@ucm.es</a>	
<b>Número de plazas:</b>	1	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

Entender y analizar el aprendizaje de una red de neuronas generativa parecida a un modelo de Ising en ferromagnetismo. Explorar la dinámica del aprendizaje y/o los estados de la máquina entrenada.

### Metodología:

El/la estudiante tendrá que estudiar los principios básicos del aprendizaje automatizado y ser capaz de implementarlos a nivel práctico en una base de datos real. En particular, tendrá que entender los métodos del ascenso del gradiente y de simulación de Monte Carlo, y cómo aplicarlos en la práctica en el contexto del entrenamiento de una Restricted Boltzmann Machine (RBM). El/la estudiante tendrá que escribir un programa en Python para entrenar una RBM, estudiar la dinámica de aprendizaje en equilibrio y fuera del equilibrio, y ser capaz de identificar los estados de equilibrio aprendidos por la máquina. Estos resultados numéricos se analizarán y compararán con resultados analíticos, como el diagrama de fases del modelo, que pueden obtenerse de manera sencilla usando técnicas de física estadística y aproximaciones de campo medio.

### Bibliografía:

Decelle, A., & Furtlehner, C. (2020). Restricted Boltzmann Machine, recent advances and mean-field theory. Chinese Physics B, Hinton, G. A Practical Guide to training Restricted Boltzmann Machine  
Decelle, A., Fundamental problems in statistical physics XIV: Lecture on Machine Learning, arXiv:2202.05670



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

## Ficha de Trabajo Fin de Grado

<b>DEPARTAMENTO:</b>	FÍSICA TEÓRICA	
<b>TÍTULO:</b>	Campos cuánticos en espaciotiempos curvos	
<b>TITLE:</b>	Quantum fields in curved spacetimes	
<b>SUPERVISOR/ES:</b>	Luis J. Garay	
<b>NÚMERO DE PLAZAS:</b>	2	
<b>ASIGNACIÓN DE TFG:</b>	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 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 de campos relativistas, 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 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	FÍSICA TEÓRICA	
<b>Título:</b>	Integrabilidad, caos y entrelazamiento en sistemas cuánticos	
<b>Title:</b>	Integrability, chaos and entanglement in quantum systems	
<b>Supervisor/es:</b>	Federico Finkel Morgenstern y Artemio González López	
<b>E-mail supervisor/es</b>	<a href="mailto:ffm@ucm.es">ffm@ucm.es</a> , <a href="mailto:artemio@ucm.es">artemio@ucm.es</a>	
<b>Número de plazas:</b>	2	
<b>Asignación de TFG:</b>	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*, 10<sup>th</sup> anniversary ed., Cambridge University Press, 2010.



## FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

### Ficha de Trabajo Fin de Grado

<b>DEPARTAMENTO:</b>	FÍSICA TEÓRICA	
<b>TÍTULO:</b>	Astrosismología en las estrellas de neutrones: Escuchando la Ecuación de Estado	
<b>TITLE:</b>	Astrosismology in neutron stars: listening to the equation of state.	
<b>SUPERVISOR/ES:</b>	Luis Manuel González Romero	
<b>e-mail Supervisor/es</b>	mgromero@ucm.es	
<b>NÚMERO DE PLAZAS:</b>	1	
<b>ASIGNACIÓN DE TFG:</b>	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.

El trabajo puede incluir la obtención de modelos numéricos sencillos con ordenador con simetría esférica y el cálculo de modos de oscilación de las estrellas relativistas.

Con todo ello se podrá analizar la estabilidad y la radiación gravitacional emitidas en estas oscilaciones (modos cuasi-normales). El análisis de estos modos cuasi-normales permite obtener información sobre el interior de las estrellas de neutrones (astrosismología), en particular de la ecuación de estado.

#### 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.
3. J. Mena-Fernández, L.M. González-Romero, "Reconstruction of neutron star equation of state from  $w$ -quasinormal modes spectra with piecewise polytropic meshing and refinement method". *Phys. Rev D* 99, 104005 (2019).



## FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

### Ficha de Trabajo Fin de Grado

<b>DEPARTAMENTO:</b>	FÍSICA TEÓRICA	
<b>TÍTULO:</b>	Deformabilidad de las estrellas de neutrones por las fuerzas de Marea y Radiación gravitacional. Relaciones universales I-LOVE-Q	
<b>TITLE:</b>	Tidal deformability in neutron stars and gravitational radiation. Universal I-LOVE-Q relations.	
<b>SUPERVISOR/ES:</b>	Luis Manuel González Romero	
<b>e-mail Supervisor/es</b>	mgromero@ucm.es	
<b>NÚMERO DE PLAZAS:</b>	1	
<b>ASIGNACIÓN DE TFG:</b>	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.

En el proceso de coalescencia de una binaria de dos estrellas de neutrones se produce una deformación de las mismas debidas a las fuerzas de marea. Estas deformaciones llevan a la emisión de radiación gravitacional que ha sido detectada en el evento GW170817. Se estudiará la deformabilidad de las estrellas de neutrones para diferentes ecuaciones de estado en el marco de la Relatividad General.

El trabajo puede incluir la obtención de modelos numéricos sencillos con ordenador con simetría esférica y en rotación lenta para la obtención de relaciones universales (independientes de la ecuación de estado), del tipo I-LOVE-Q.

#### 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.
3. J. Mena-Fernández, L.M. González-Romero, "Piecewise polytropic meshing and refinement method for the reconstruction of the neutron star equation of state using tidal deformabilities and constraints in the piecewise polytropic parameters given by the GW170817 event". <https://arxiv.org/abs/1903.08921v1>.



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

## Ficha de Trabajo Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica
<b>Título:</b>	Geometría del monopolo magnético
<b>Title:</b>	Geometry of the magnetic monopole
<b>Supervisor/es:</b>	Rafael Hernández Redondo
<b>e-mail supervisor/es</b>	rafael.hernandez@fis.ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	1
<b>Asignación de TFG:</b>	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 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica	
<b>Título:</b>	Rotura espontánea de simetría en teoría de campos	
<b>Title:</b>	Spontaneous symmetry breaking in field theory	
<b>Supervisor/es:</b>	Felipe José Llanes Estrada	
<b>E-mail supervisor/es</b>	<a href="mailto:flanes@ucm.es">flanes@ucm.es</a>	
<b>Número de plazas:</b>	3	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

**Objetivos:** Comprender la rotura espontánea de simetría en teoría de campos, incluyendo el mecanismo de Higgs del modelo estándar y la simetría quiral de las interacciones fuertes, así como otros contextos; ser capaz de desarrollar un programa para un modelo del fenómeno.

**Metodología:** Estudio bibliográfico inicial de la rotura espontánea añadiendo un campo (como el de Higgs). Estudio bibliográfico de la rotura debida a la fuerza de la propia interacción necesitando de ecuaciones integrales (Dyson-Schwinger o similares). Se proporcionará al alumno o alumna un programa en fortran que resuelve la ecuación para el propagador de un fermión rompiendo la simetría quiral. Tras llevar a cabo “experimentos” numéricos con este fenómeno, el alumno intentará modificarlo para ver si puede o no romper otra simetría global. El trabajo es de corte teórico+computacional, requiere un ordenador persona con entorno linux o similar con la colección de compiladores libres de gnu o equivalente. Alternativamente se podrá conectar al arreglo del departamento mediante interfaz *ssh*. 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). Guía para escribir de manera clara y concisa un trabajo universitario  
2.- **Gauge theories in particle physics**, texto de I.J.R. Aitchison y A.J.G. Hey.  
3.- **Strong QCD and Dyson-Schwinger equations**, de C.D. Roberts (artículo de revisión <https://arxiv.org/pdf/1203.5341.pdf> )  
4.- **Fermion masses from the Grand Unification to the Electroweak Scale**, Trabajo de fin de máster de D. Alexandre Salas Bernárdez, UCM 2018.



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica	
<b>Título:</b>	Estrella de neutrones en rotación en relatividad general	
<b>Title:</b>	Rotating neutron star in general relativity	
<b>Supervisor/es:</b>	Felipe José Llanes Estrada	
<b>E-mail supervisor/es</b>	<a href="mailto:flanes@ucm.es">flanes@ucm.es</a>	
<b>Número de plazas:</b>	1	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

**Objetivos:** Comprender las ecuaciones de Tolman-Oppenheimer-Volkoff constitutivas en una estrella de neutrones; ser capaz de calcular el diagrama M/R de tales estrellas; ser capaz de añadir modificaciones debidas a la rotación.

**Metodología:** Estudio bibliográfico de las ecuaciones de Relatividad General para el espacio-tiempo y el fluido material. Cálculo numérico (se proporcionará programa en Fortran implementando el método de Runge-Kutta) del diagrama M( R) para una estrella de neutrones en equilibrio estático. Se extenderá el programa para incluir rotación lenta según el método de Hartle y Thorne; finalmente, se muestrearé el espacio de ecuaciones de estado con las propias de la UCM,

<http://teorica.fis.ucm.es/nEoS>

El trabajo es de corte teórico+computacional, requiere un ordenador personal con entorno linux o similar con la colección de compiladores libres de gnu o equivalente. Alternativamente se podrá conectar al arreglo del departamento mediante interfaz *ssh*. 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). Guía para escribir de manera clara y concisa un trabajo universitario  
2.- **Gravity: an introduction to Einstein's General Relativity**, James B. Hartle intnal. Edition.  
3.- J.B. Hartle, K.S. Thorne, *Astrophysical Jorurnal* 153, 807 (1968)



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica	
<b>Título:</b>	Ondas en el agua	
<b>Title:</b>	Water Waves	
<b>Supervisor/es:</b>	Manuel Mañas Baena	
<b>E-mail supervisor/es</b>	manuel.manas.baena@gmail.com	
<b>Número de plazas:</b>	2	
<b>Asignación de TFG:</b>	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 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica	
<b>Título:</b>	Computación Cuántica Topológica: Una Introducción	
<b>Title:</b>	Topological Quantum Computation: an introduction	
<b>Supervisor/es:</b>	Miguel Angel Martin-Delgado	
<b>E-mail supervisor/es</b>	mardel@ucm.es	
<b>Número de plazas:</b>	1	
<b>Asignación de TFG:</b>	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 decoherencia 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:**

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



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica
<b>Título:</b>	Teoría de la Información Cuántica y Computación Cuántica
<b>Title:</b>	Quantum Information and Quantum Computation
<b>Supervisor/es:</b>	Miguel Angel Martin-Delgado
<b>E-mail supervisor/es</b>	mardel@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	2
<b>Asignación de TFG:</b>	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 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica	
<b>Título:</b>	Introducción a gravedad cuántica	
<b>Title:</b>	Introduction to quantum gravity	
<b>Supervisor/es:</b>	Mercedes Martín Benito	
<b>E-mail supervisor/es</b>	<a href="mailto:m.martin.benito@ucm.es">m.martin.benito@ucm.es</a>	
<b>Número de plazas:</b>	2	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

El principal objetivo de este trabajo es introducirse en el problema de la cuantización no perturbativa de la gravedad. 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 y abordaremos el análisis de un modelo sencillo concreto.

### 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 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica	
<b>Título:</b>	Métodos de Monte Carlo modernos para sistemas de espines	
<b>Title:</b>	Modern Monte Carlo methods for spin systems	
<b>Supervisor/es:</b>	Víctor Martín Mayor	
<b>E-mail supervisor/es</b>	vicmarti@ucm.es	
<b>Número de plazas:</b>	2	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

En este trabajo se estudiarán las propiedades de las cadenas de Markov y su uso en simulaciones de Monte Carlo en Física. Se aprenderá a caracterizar series temporales estocásticas, y a discriminar la calidad de los diferentes algoritmos de Montecarlo atendiendo a dicha caracterización. Con el fin de comprender los métodos modernos de simulación, estudiaremos conceptos de Mecánica Estadística que no se estudian en el grado en Física (construcción de Fortuin-Kasteleyn, y series de alta/baja temperatura). El trabajo permitirá, además, implementar de manera eficiente dichos algoritmos.

### Metodología:

Tras el correspondiente estudio de la bibliografía, se implementará de manera eficiente (en lenguaje C) los algoritmos de simulación y análisis de datos estudiados. Estos programas se utilizarán en simulaciones de Monte Carlo (unas 1000 horas de CPU), para obtener resultados de alta calidad estadística, que permitan una discusión detallada de la calidad de los diferentes algoritmos.

### Bibliografía:

Alan Sokal, *Simulations of Statistical Mechanics Models* (Les Houches lecture, 2005)  
Daniel Amit and Víctor Martín Mayor, *Field Theory, the Renormalization Group and Critical Phenomena*, (3<sup>rd</sup> edition, 2005, World Scientific Singapore).  
Youijing Deng et al., Phys. Rev. Lett. **99**, 110601 (2007).  
U. Wolff, Nucl. Phys. B **810**, 491 (2009).  
Lei Zhang et al., Phys. Rev. Lett. **125**, 200603 (2020).



## FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

### Ficha de Trabajo Fin de Grado

<b>DEPARTAMENTO:</b>	FÍSICA TEÓRICA	
<b>TÍTULO:</b>	Análisis de rendimiento de potenciales de grano grueso para moléculas de simetría oblata	
<b>TITLE:</b>	Performance analysis of coarse grain potentials for molecules of oblate symmetry	
<b>SUPERVISOR/ES:</b>	Juan Neftalí Morillo García	
<b>e-mail Supervisor/es</b>	juannefm@ucm.es	
<b>NÚMERO DE PLAZAS:</b>	1	
<b>ASIGNACIÓN DE TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

#### OBJETIVOS:

El objetivo del trabajo es la comparación de diferentes potenciales de grano grueso aplicables a moléculas de simetría oblata como laponitas y coreneno.

El trabajo puede incluir la simulación molecular con distintos potenciales para su comparación a través de diferentes variables termodinámicas y la localización de posibles transiciones de fase.

Con todo ello se podrá analizar la viabilidad de estos potenciales para el cálculo de energías libres y la determinación de diagramas de fase de sustancias, con amplia utilidad en múltiples tecnologías

#### METODOLOGÍA:

Estudio de la bibliografía básica recomendada y utilización de programas de simulación para la validación de modelos.

#### BIBLIOGRAFÍA:

1. Joshi, S. Y. and Deshmukh, S. A. (2021). A review of advancements in coarse-grained molecular dynamics simulations. *Molecular Simulation*, 47(10–11), 786–803.
2. Ruzicka, B. and Zaccarelli, E. (2011). A fresh look at the Laponite phase diagram. *Soft Matter*, 7(4), 1268–1286
3. Hernández-Rojas, J., Calvo, F., Niblett, S. and Wales, D. J. (2017). *Dynamics and thermodynamics of the coronene octamer described by coarse-grained potentials. Physical Chemistry Chemical Physics*, 19(3), 1884–1895.



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica	
<b>Título:</b>	Soluciones numéricas en teorías clásicas de campos: vórtices y solitones	
<b>Title:</b>	Numerical solutions in Classical Field Theories: vortices and solitons	
<b>Supervisor/es:</b>	Francisco Navarro Lérica	
<b>E-mail supervisor/es</b>	fnavarro@ucm.es	
<b>Número de plazas:</b>	1	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

- Familiarización del alumno con los métodos numéricos empleados en la búsqueda de soluciones en teorías clásicas de campos.
- Estudio de la influencia de las condiciones de frontera en las propiedades de las soluciones.
- Análisis de las propiedades físicas a partir de los datos numéricos.

### Metodología:

- Estudio de las referencias y la bibliografía básicas.
- Obtención variacional de las ecuaciones de campo en una teoría a partir de su densidad lagrangiana. Imposición de simetrías para su simplificación. Es recomendable tener conocimientos de Maple o Mathematica.
- Aprendizaje de COLSYS/FIDISOL para la resolución numérica de ecuaciones de campo. Es recomendable tener conocimientos de Fortran.
- Elaboración de una memoria científica de los resultados obtenidos.
- Se recomienda haber cursado o estar cursando "Electrodinámica Clásica".

### Bibliografía:

- A. Jaffe and C. Taubes, Vortices and monopoles: structure of static gauge theories (1980).

- V. Rubakov, Classical theory of gauge fields (2002).
- U. Ascher, J. Christiansen, and R. D. Russell, *Mathematics of Computation* **33**, 659 (1979).
- H.B. Nielsen and P. Olesen, *Nucl. Phys.* **B61**, 45 (1973).
- G. 't Hooft, *Nucl. Phys.* **B79**, 276 (1974).



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica	
<b>Título:</b>	Violación de la simetría CP en el LHC	
<b>Title:</b>	CP-symmetry violation at the LHC	
<b>Supervisor/es:</b>	José Ramón Peláez Sagredo	
<b>E-mail supervisor/es</b>	jrpelaez@fis.ucm.es1	
<b>Número de plazas:</b>	1	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

- Estudiar la formulación matemática de la simetría CP entre partículas y antipartículas y como se mantiene en todas las interacciones fundamentales menos la electrodébil.
- Comprender que la observación de su violación requiere la interferencia de dos procesos.
- Entender los distintos tipos de violación de CP atendiendo a la parte del proceso en que se originan.
- Describir las observaciones de esta violación en distintas reacciones, prestando especial atención a los resultados del Large Hadron Collider (LHC) del CERN.

### Metodología:

Lectura de capítulos de libros y/o publicaciones científicas propuestas en la bibliografía y relacionadas con los objetivos propuestos. Obtención, mediante cálculos analíticos, del formalismo que describe las asimetrías CP y aplicación a casos de interés para el LHC. En algunos pasos, se solicitará que el alumno o alumna realice algún cálculo o comprobación utilizando un programa del tipo de Mathematica.

### Bibliografía:

- D.H. Perkins, Introduction to High Energy Physics Cambridge University Press, (4th Edition, 2000)
- The Review of Particle Physics (2020). P.A. Zyla et al. (Particle Data Group), Prog. Theor. Exp. Phys. 2020, 083C01 (2020).
- Bigi, I.I. A. I. Sanda, CP Violation. Cambridge University Press (2009)
- G.C. Branco, L. Lavoura, J.P. Silva, CP Violation, Clarendon Press, Oxford, (1999).



## FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

### Ficha de Trabajo Fin de Grado

<b>DEPARTAMENTO:</b>	Física Teórica	
<b>TÍTULO:</b>	Campos gauge en espacio-tiempo no conmutativo	
<b>TITLE:</b>	Gauge fields on noncommutative spacetime	
<b>SUPERVISOR/ES:</b>	Carmelo Pérez Martín	
<b>e-mail Supervisor/es</b>	<a href="mailto:carmelop@fis.ucm.es">carmelop@fis.ucm.es</a>	
<b>NÚMERO DE PLAZAS:</b>	1	
<b>ASIGNACIÓN DE TFG:</b>	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. Moeller, 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 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica	
<b>Título:</b>	Física Cuántica e Información Cuántica	
<b>Title:</b>	Quantum Physics and Quantum Information	
<b>Supervisor/es:</b>	Ángel Rivas	
<b>E-mail supervisor/es</b>	<a href="mailto:anrivas@ucm.es">anrivas@ucm.es</a>	
<b>Número de plazas:</b>	1	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

- Profundizar en el conocimiento de la mecánica cuántica, su formalismo y sus predicciones.
- Comprender la teoría cuántica desde el enfoque de la teoría de la información.
- Indagar en las propiedades físicas de la información a escala microscópica, tanto desde el punto de vista fundamental como aplicado en tareas de procesamiento o transmisión de la misma.

### Metodología:

Es altamente recomendable que el alumno haya cursado la asignatura de "Mecánica Cuántica".

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 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 la información en sistemas cuánticos controlados.

**Bibliografía:**

- B. Schumacher and M. Westmoreland, "Quantum Processes Systems, and Information", Cambridge University Press 2010.
- M. Nielsen y I. Chuang, "Quantum Information and Quantum Computation", Cambridge University Press 2000.
- D. F. Walls and G. J. Milburn, "Quantum Optics", Springer 2008.
- A. Rivas, S. F. Huelga, "Open Quantum Systems. An Introduction", Springer 2012.



## FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

### Ficha de Trabajo Fin de Grado

<b>DEPARTAMENTO</b>	Física Teórica	
<b>TÍTULO:</b>	Introducción a los números trascendentes e y pi	
<b>TITLE:</b>	Introduction to transcendent numbers e and pi	
<b>SUPERVISOR/ES:</b>	María Jesus Rodríguez Plaza	
<b>e-mail Supervisor/es</b>	mjrplaza@ucm.es	
<b>NÚMERO DE PLAZAS:</b>	2	
<b>ASIGNACIÓN DE TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

#### OBJETIVOS:

Entender las demostraciones de Hermite (1873) y de Lindermann (1882) sobre la trascendencia de e y pi, así como las demostraciones de algunos teoremas sencillos sobre trascendencia.

#### METODOLOGÍA:

Tras leer unas referencias básicas el alumno será capaz de entender y reproducir, ayudándose de programas de manipulación algebraica, ambas demostraciones, que requieren series de potencias, conocimientos de la teoría de polinomios, aproximaciones de Padé e integrales destacadas.

#### BIBLIOGRAFÍA:

S. Lang, Transcendental numbers and Diophantine approximation, Bull. Amer. Math. Soc. **77** (1971), 635-677

C. Hermite, Sur la fonction exponentielle, C. R. Acad. Sci. Paris, **77** (1873), 18-24; 74-79; 226-233; 285-293;



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica	
<b>Título:</b>	Introducción a la física de agujeros negros	
<b>Title:</b>	Introduction to black hole physics	
<b>Supervisor/es:</b>	Diego Rubiera García	
<b>E-mail supervisor/es</b>	<a href="mailto:drubiera@ucm.es">drubiera@ucm.es</a>	
<b>Número de plazas:</b>	3	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

- Digerir un conjunto de conocimientos básicos sobre las propiedades geométricas, físicas y observacionales más relevantes de los agujeros negros.
- Desarrollar en profundidad una temática especializada de agujeros negros.
- Conseguir una primera toma de contacto con los modos de investigación moderna.

### Metodología:

- En una primera fase se proporcionará material propio recorriendo los aspectos más fundamentales de la física de agujeros negros: soluciones clásicas, horizontes, movimiento geodésico, esferas de fotones, soluciones dinámicas, colapso gravitacional, termodinámica/radiación Hawking, ondas gravitacionales, búsquedas observacionales, singularidades espacio-temporales, objetos exóticos...
- En una segunda fase el alumno escogerá a voluntad un tema de su interés, para profundizar en él, proporcionándosele al efecto material complementario. Dicha temática especializada constituirá la base del TFG final.
- Se fomentará la creatividad e independencia del alumno, así como su adecuación del TFG a los estándares de investigación moderna.
- El alumno contará con interacción continua y a demanda con su supervisor.

### Bibliografía:

- M. Hobson, "General Relativity".
- T. Ortin, "Gravity and Strings" (temas 7 y 8).
- R. M. Wald, "General Relativity".
- T. Padmanabhan, "Gravitation. Foundations and Frontiers".



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica	
<b>Título:</b>	Formalismo simpléctico de la mecánica cuántica en espacio-tiempos curvos	
<b>Title:</b>	Symplectic formalism of quantum mechanics in curved space-times.	
<b>Supervisor/es:</b>	José Alberto Ruiz Cembranos	
<b>E-mail supervisor/es</b>	cembra@ucm.es	
<b>Número de plazas:</b>	2	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

El concepto de espacio-tiempo curvo emerge dentro de la teoría de la relatividad general propuesta por Albert Einstein en 1915. Desde entonces, dicho concepto ha resultado fundamental para entender tanto la interacción gravitacional como la evolución del Universo a gran escala.

El objetivo de este trabajo consiste en analizar el formalismo simpléctico de la mecánica cuántica dentro de espacio-tiempos curvos. La descripción más elegante de la física clásica consiste en su formulación simpléctica. 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 simpléctica 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 estudiar dicha formulación simpléctica de la mecánica cuántica en espacio-tiempos curvos.

### **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 y la relatividad general. En este sentido, para un correcto aprovechamiento del trabajo es altamente recomendable que el alumno esté matriculado en (o haya superado) las asignaturas optativas de cuarto: “Mecánica Teórica”, “Campos Cuánticos” y “Relatividad General y Gravitación”, mientras que son recomendables las asignaturas de “Coherencia Óptica y Láser” y “Cosmología”.

En particular, el estudiante desarrollará un trabajo fundamentalmente teórico sobre la formulación simpléctica de la mecánica cuántica en espacio-tiempos curvos. Para ello, establecerá y desarrollará sus conceptos básicos 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.

### **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 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica	
<b>Título:</b>	Espacio de Segal-Bargmann en relatividad general	
<b>Title:</b>	Segal-Bargmann space in general relativity	
<b>Supervisor/es:</b>	José Alberto Ruiz Cembranos	
<b>E-mail supervisor/es</b>	cembra@ucm.es	
<b>Número de plazas:</b>	2	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

La teoría de la relatividad general propuesta por Albert Einstein en 1915 establece una descripción geométrica de la interacción gravitacional. En este contexto, el espacio-tiempo tiene una entidad dinámica cuya evolución está asociada a las denominadas ecuaciones de Einstein.

El objetivo de este trabajo consiste en plantear dicha teoría en el espacio de Segal-Bargmann. La descripción más elegante de la física clásica consiste en formulaciones que tratan 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 un espacio como el de Segal-Bargmann 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 estudiar la relatividad general dentro del formalismo de la mecánica cuántica asociado al espacio de Segal-Bargmann.

**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 y la relatividad general. En este sentido, para un correcto aprovechamiento del trabajo es altamente recomendable que el alumno esté matriculado en (o haya superado) las asignaturas optativas de cuarto: “Mecánica Teórica”, “Campos Cuánticos” y “Relatividad General y Gravitación”, mientras que son recomendables las asignaturas de “Coherencia Óptica y Láser” y “Cosmología”.

En particular, el estudiante desarrollará un trabajo fundamentalmente teórico sobre la formulación de la física cuántica en el espacio de Segal-Bargmann dentro de geometrías asociadas a la relatividad general. Para ello, establecerá y desarrollará los conceptos básicos de dichos marcos teóricos 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.

**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 2022-23



## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica	
<b>Título:</b>	La relatividad general como teoría gauge	
<b>Title:</b>	General relativity as a gauge theory	
<b>Supervisor/es:</b>	Fernando Ruiz Ruiz	
<b>E-mail supervisor/es</b>	ferruiz@ucm.es	
<b>Número de plazas:</b>	1	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

Entender la formulación de la relatividad general como una teoría gauge local.

### 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 el vierbein, la conexión de spin, la torsión o el acoplamiento de gravedad a fermiones.

### 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 2022-23



## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica	
<b>Título:</b>	Términos de frontera en relatividad general	
<b>Title:</b>	Boundary terms in general relativity	
<b>Supervisor/es:</b>	Fernando Ruiz Ruiz	
<b>E-mail supervisor/es</b>	ferruiz@ucm.es	
<b>Número de plazas:</b>	1	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

Entender la importancia y alguna aplicación en teorías de gravedad de los términos de frontera.

### 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 descomposición ADM, los desarrollos asintóticos, los principios variacionales y el término de Gibbons-Hawking-York.

### Bibliografía:

G.W. Gibbons, S. Hawking: "Action integrals and partition functions in quantum gravity", Phys. Rev, **D15** (1977) 2752 [doi : 10.1103 / PhysRevD.15.2752].

J.W. York: "Role of Conformal Three-Geometry in the Dynamics of Gravitation", Phys. Rev. Lett. **28** (1972) 1082 [doi : 10.1103 / PhysRevLett.28.1082].

M. Bojowald: "Canonical gravity and applications", Cambridge University Press (Cambridge 2011).



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica	
<b>Título:</b>	Teoría electrodébil y potencial del Higgs en el Modelos Estándar y más allá	
<b>Title:</b>	Electroweak theory and Higgs potential in the Standard Model and beyond	
<b>Supervisor/es:</b>	Juan José Sanz Cillero	
<b>E-mail supervisor/es</b>	jjsanzcillero@ucm.es	
<b>Número de plazas:</b>	1	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

Investigar y presentar el procedimiento seguido por Glashow, Weinberg & Salam que los llevó a la unificación de las fuerzas electromagnética y débil. Se busca hacer especial hincapié en los distintos contratiempos que surgieron, así como en situar cronológicamente el desarrollo del marco teórico del modelo electrodébil mediante los distintos experimentos que se llevaron a cabo.

Se plantea también estudiar el Mecanismo de Higgs y el potencial del Modelo Estándar. Se estudia el proceso de ruptura espontánea de simetría y la aparición de vacíos no-triviales que no son invariantes bajo las transformaciones de simetría del Modelo Estándar. De igual modo se planteará, en la medida de lo posible, estudiar algunas extensiones y posibles fenómenos más allá del Modelo Estándar.

### Metodología:

Se hará un estudio bibliográfico siguiendo las referencias básicas y continuando el estudio a partir de ellas.

Se reproducirán algunos cálculos básicos y se hará uso de software de cálculo simbólico para los análisis más complejos.

**Bibliografía:**

- S. Weinberg, "The Making of the standard model", Eur. Phys. J. C 34 (2004), 5-13; doi:10.1140/epjc/s2004-01761-1 ; [arXiv:hep-ph/0401010 [hep-ph]].
- J.F. Donoghue, E. Golowich and B.R. Holstein, "Dynamics of the standard model", Camb. Monogr. Part. Phys. Nucl. Phys. Cosmol. 2 (1992), 1-540; doi:10.1017/CBO9780511524370 .
- S. Coleman, "Aspects of Symmetry: Selected Erice Lectures", doi:10.1017/CBO9780511565045 .



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica	
<b>Título:</b>	Caos, fractales y finanzas	
<b>Title:</b>	Chaos, fractals and finance	
<b>Supervisor/es:</b>	Juan José Sanz Cillero	
<b>E-mail supervisor/es</b>	jjsanzcillero@ucm.es	
<b>Número de plazas:</b>	1	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

- Entender conceptos básicos de los procesos estocásticos, como el movimiento browniano, la característica de autosimilitud, las ecuaciones diferenciales estocásticas y su aplicabilidad al modelo a estudiar.
- Entender qué es una medida multifractal y cómo generarlas mediante “multiplicative cascades”. Relación con los estudios de mecánica teórica sobre la teoría del caos.
- Entender el Modelo financiero Multifractal de Rendimiento de Activos (Multifractal Model of Asset Returns, MMAR) y relacionarlo con conceptos estándar matemáticos y de mecánica teórica.

### Metodología:

- En este trabajo se pretende adquirir los conocimientos básicos en materia de procesos estocásticos, ecuaciones diferenciales estocásticas y medidas multifractales con el fin de estudiar el modelo de rendimiento de activos MMAR.
- Para ello se realizarán un trabajo de búsqueda bibliográfica a partir de las referencias fundamentales, que permita profundizar y relacionar la evolución del sistema estudiado con otros sistemas habituales en mecánica.
- Se reproducirá algunos cálculos y resultados básicos, para lo que se hará uso de software matemático especializado, tanto de análisis simbólico como numérico.

**Bibliografía:**

- [1] J. V. José, E. J. Saletan, Classical Dynamics, Cambridge University Press, 1998.
- [2] Heinz – Otto Peitgen, Hartmut Jürgens, Dietmar Saupe. “Chaos and Fractals”. Springer – Verlag, New York (1992).
- [3] L.C. Evans. “An introduction to stochastic differential equations”. Philadelphia, American Mathematical Society (2013).
- [4] De Barra G. “Measure Theory and Integration”, Department of Mathematics Royal Holloway College, University of London. (1987)
- [5] Carl J. G. Evertsz, Benoit B. Mandelbrot. “Multifractal Measures”, Chaos and Fractals. Springer – Verlag, New York, Appendix B, 849 – 881 (1992).
- [6] Benoit B. Mandelbrot, Adlai Fisher, Laurent Calvet. “A Multifractal Model of Asset Returns” (1997)



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física teórica	
<b>Título:</b>	Estudio de procesos hadrónicos en colisionadores	
<b>Title:</b>	Hadronic processes in colliders	
<b>Supervisor/es:</b>	Ignazio Scimemi	
<b>E-mail supervisor/es</b>	ignazios@ucm.es	
<b>Número de plazas:</b>	1	
<b>Asignación de TFG:</b>	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 energía. 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 de QCD 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 el 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](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 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica	
<b>Título:</b>	Paisajes de energía libre en proteínas	
<b>Title:</b>	Free-energy landscape perspective in proteins	
<b>Supervisor/es:</b>	Beatriz Seoane Bartolomé	
<b>E-mail supervisor/es</b>	beseoane@ucm.es	
<b>Número de plazas:</b>	1	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

### Objetivos:

Entender los principales resultados de la teoría de campo medio de proteínas y su relación con los modelos de vidrios y vidrios de espín en física. Explorar su validez en proteínas intrínsecamente desordenadas

### Metodología:

El/la estudiante tendrá que sintetizar diferentes artículos de investigación sobre el tema, y manejar conceptos como el diagrama de fase o la dinámica fuera del equilibrio. Estos resultados se meterán en contexto con lo conocido en física de vidrios. Además, el/la estudiante tendrá que ser capaz, bien de entender y repetir cálculos analíticos en un modelo simplificado de proteínas, o bien de realizar simulaciones de dinámica molecular en modelos realistas de proteínas. En ambos casos, los resultados se usarán para explorar la validez de estas teorías en proteínas intrínsecamente desordenadas.

### Bibliografía:

Ferreiro, D., Komives, E., & Wolynes, P. (2014). Frustration in biomolecules. *Quarterly Reviews of Biophysics*, 47(4), 285-363. doi:10.1017/S0033583514000092  
Onuchic, J. N., Luthey-Schulten, Z., & Wolynes, P. G. (1997). Theory of protein folding: the energy landscape perspective. *Annual review of physical chemistry*, 48(1), 545-600.  
Cavagna, A. (2009). Supercooled liquids for pedestrians. *Physics Reports*, 476(4-6), 51-124.



## FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2021-22

### Ficha de Trabajo Fin de Grado

<b>DEPARTAMENTO:</b>	Física teórica	
<b>TÍTULO:</b>	Líneas de Wilson a un bucle en QCD de alta energía.	
<b>TITLE:</b>	Wilson loops in the high-energy QCD	
<b>SUPERVISOR/ES:</b>	Alexey Vladimirov	
<b>e-mail Supervisor/es</b>	alexeyvl@ucm.es	
<b>NÚMERO DE PLAZAS:</b>	1	
<b>ASIGNACIÓN DE TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

#### OBJETIVOS:

Las líneas de Wilson describen el transporte paralelo de campos en las teorías de calibre, como QCD, QED y gravedad cuántica. Son una parte esencial del aparato moderno de las teorías cuánticas de campos. La descripción de la dispersión de alta energía también implica bucles de Wilson, que se recogen en los factores blandos y describen la interacción de fondo entre quarks y gluones.

#### METODOLOGÍA:

En este trabajo, investigará las leyes definitorias de las líneas y bucles de Wilson, desde las propiedades básicas (como la unitariedad y la ley de composición), hasta el teorema de Stokes no abeliano. Luego se aplicará para estudiar los factores blandos, que se definen en los teoremas de factorización. El objetivo final es derivar las relaciones entre el factor blando y el llamado kernel de evolución de Collins-Soper.

#### BIBLIOGRAFÍA:

- [1] Peskin & Schroeder, **Introduction to quantum field theory**
- [2] F. Van der Veken, I. Cherednikov, and T. Mertens, **Wilson Lines in Quantum Field Theory**
- [3] Y. Makeenko, **A Brief Introduction to Wilson Loops and Large N** [\[0906.4487\]](#)



## FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2021-22

### Ficha de Trabajo Fin de Grado

<b>DEPARTAMENTO:</b>	Física teórica	
<b>TÍTULO:</b>	Red de diagramas y exponenciación para bucles de Wilson	
<b>TITLE:</b>	Web-diagrams and exponention for Wilson loops	
<b>SUPERVISOR/ES:</b>	Alexey Vladimirov	
<b>e-mail Supervisor/es</b>	alexeyvl@ucm.es	
<b>NÚMERO DE PLAZAS:</b>	1	
<b>ASIGNACIÓN DE TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

#### OBJETIVOS:

Las líneas de Wilson describen el transporte paralelo de campos en las teorías de calibre, como QCD, QED y gravedad cuántica. Son una parte esencial del aparato moderno de las teorías cuánticas de campos. La expansión perturbativa para bucles de Wilson se puede presentar de una forma especial, como un exponente de diagramas web. Los diagramas web son una subclase de los diagramas de Feynman que obedecen a la conectividad de color.

#### METODOLOGÍA:

En este trabajo aprenderás sobre la generación de diagramas de Feynman y el cálculo de los factores de color en QCD. Estudiaré las propiedades de la expansión perturbativa de todo orden para bucles de Wilson y (usando el álgebra de color) encontraré las reglas de exponenciación y definiré diagramas web.

#### BIBLIOGRAFÍA:

- [1] F. Van der Veken, I. Cherednikov, and T. Mertens, **Wilson Lines in Quantum Field Theory**
- [2] C.D. White, **An Introduction to Webs**, [\[1507.02167\]](#)
- [3] A. Vladimirov, **Exponentiation for products of Wilson lines within the generating function approach** [\[1501.03316\]](#)



## FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2021-22

### Ficha de Trabajo Fin de Grado

<b>DEPARTAMENTO:</b>	Física teórica	
<b>TÍTULO:</b>	QCD en gauge axial	
<b>TITLE:</b>	QCD in axial gauge	
<b>SUPERVISOR/ES:</b>	Alexey Vladimirov	
<b>e-mail Supervisor/es</b>	alexeyvl@ucm.es	
<b>NÚMERO DE PLAZAS:</b>	1	
<b>ASIGNACIÓN DE TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

#### OBJETIVOS:

La libertad de gauge en las teorías cuánticas de campos se puede fijar de diferentes maneras. La fijación de la libertad de gauge es especialmente no trivial en las teorías de gauge no abelianas (por ejemplo, QCD). Este proyecto está dedicado a la investigación de algunas clases especiales de calibres, a saber, calibres axiales y calibres de cono de luz. Estos medidores son especialmente útiles en cálculos relacionados con la dinámica de quarks y gluones a alta energía.

#### METODOLOGÍA:

Aprenderá sobre la formulación integral funcional de las teorías de calibre, la fijación de calibre de Fadeev-Popov y la aplicará para derivar los elementos principales de QCD en calibres axiales y de cono de luz. Luego, verificará la propiedad de invariancia de calibre de QCD, comparando explícitamente las amplitudes en los calibres regulares y axiales.

#### BIBLIOGRAFÍA:

- [1] G.Sterman, **An introduction to quantum field theory**
- [2] T.Muta, **Foundation of Quantum Chromodynamics**
- [3] Peskin & Schroeder, **Introduction to quantum field theory**



## FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2021-22

### Ficha de Trabajo Fin de Grado

<b>DEPARTAMENTO:</b>	Física teórica	
<b>TÍTULO:</b>	Expansión del producto del operador para dispersión inelástica profunda	
<b>TITLE:</b>	Operator product expansion for deep-inelastic scattering	
<b>SUPERVISOR/ES:</b>	Alexey Vladimirov	
<b>e-mail Supervisor/es</b>	alexeyvl@ucm.es	
<b>NÚMERO DE PLAZAS:</b>	1	
<b>ASIGNACIÓN DE TFG:</b>	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

#### OBJETIVOS:

La expansión del producto del operador (OPE) es un método formal para derivar las expansiones asintóticas en las teorías cuánticas de campos. La dispersión inelástica profunda (DIS) es la reacción  $e+p \rightarrow e+X$  ( $X$  es cualquier cosa). Usando OPE uno expresa DIS en términos de densidades de probabilidad de quarks y gluones, que es el primer paso en la exploración de la estructura interna del nucleón. OPE es la herramienta principal para estudios de reacciones QCD a altas energías.

#### METODOLOGÍA:

En este trabajo, aprenderá cómo describir las dispersiones de alta energía en QCD, con el ejemplo del proceso más fundamental: la dispersión inelástica profunda. Aprenderá los conceptos básicos de OPE en QCD y los aplicará para derivar la imagen de dispersión de partones.

#### BIBLIOGRAFÍA:

- [1] F.J.Ynduráin, **The Theory of Quark and Gluon Interactions**
- [2] T.Muta, **Foundation of Quantum Chromodynamics**
- [3] J.Collins, **Renormalization: An Introduction to Renormalization, the Renormalization Group and the Operator-Product Expansion**



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica	
<b>Título:</b>	Estabilidad de sistemas lineales y autónomos	
<b>Title:</b>	Stability of Linear and Autonomous Systems	
<b>Supervisor/es:</b>	José Ignacio Aranda Iriarte	
<b>E-mail supervisor/es</b>	pparanda@ucm.es	
<b>Número de plazas:</b>	2	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input type="checkbox"/>	Selección por expediente <input checked="" type="checkbox"/>

**Objetivos:** Estudiar la estabilidad de ecuaciones y sistemas diferenciales, poco tratada en el actual plan de estudios. Según el trabajo, se deberán dominar más o menos:

1. El concepto matemático de estabilidad y estabilidad asintótica.
2. Métodos para analizar la estabilidad de ecuaciones y sistemas lineales.
3. Propiedades básicas de las ecuaciones y sistemas autónomos de orden dos.
4. Estabilidad de soluciones constantes y no constantes de sistemas autónomos.

**Metodología:** Tras el estudio de la bibliografía sobre el tema, se deberá resumir la teoría que se va a utilizar y, sobre todo, realizar abundantes y variados ejemplos haciendo uso de las técnicas aprendidas.

También se manejarán programas para el dibujo aproximado de mapas de fases y, para la elaboración del trabajo, preferiblemente del LaTeX.

### Bibliografía:

- *Ecuaciones diferenciales y problemas con valores en la frontera.* W.E. Boyce y R.C. DiPrima. Limusa-Wiley, 1983
- *Differential Equations and Dynamical Systems.* L. Perko. Springer, 2001
- [Apuntes de Ecuaciones Diferenciales I.](#) Pepe Aranda, 2009



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica	
<b>Título:</b>	Puntos críticos y mapas de fases en el plano	
<b>Title:</b>	Critical Points and Plane Phase Portraits	
<b>Supervisor/es:</b>	José Ignacio Aranda Iriarte	
<b>E-mail supervisor/es</b>	pparanda@ucm.es	
<b>Número de plazas:</b>	2	
<b>Asignación de TFG:</b>	Selección directa <input type="checkbox"/>	Selección por expediente <input checked="" type="checkbox"/>

**Objetivos:** Conocer las propiedades de los sistemas autónomos de segundo orden y de sus mapas de fases, poco estudiadas en el actual plan de estudios. Según el trabajo se deberán controlar en mayor o menor medida estos conceptos:

1. Propiedades generales de las ecuaciones y sistemas diferenciales autónomos.
2. Estructura de los puntos críticos elementales. Problema del centro o foco.
3. Nociones de puntos críticos no elementales.
4. Técnicas para realizar dibujos globales de mapas de fases

**Metodología:** Tras estudiar la bibliografía sobre el tema, se deberá resumir la teoría que se va a utilizar y, sobre todo, dibujar abundantes y variados mapas de fases, y aplicarlos a problemas de interés físico o de otras ciencias.

También se pretende aprender a manejar programas para el trazado aproximado de mapas de fases, de dibujo vectorial como el Inkscape y, para la elaboración del trabajo, preferiblemente del LaTeX.

### Bibliografía:

- *Ecuaciones diferenciales y problemas con valores en la frontera.* W.E. Boyce y R.C. DiPrima. Limusa-Wiley, 1983
- *Ecuaciones diferenciales ordinarias.* O. Plaata. Reverté, 1974
- *Differential Equations and Dynamical Systems.* L. Perko. Springer, 2001
- *Nonlinear Ordinary Differential Equations.* D.W. Jordan y P. Smith. Oxford University Press, 2007
- [Ecuaciones diferenciales ordinarias y mapas de fases.](#) Pepe Aranda, 2018



## FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

### Ficha de Trabajo Fin de Grado

<b>DEPARTAMENTO:</b>	Física Teórica
<b>TÍTULO:</b>	Neutrinos. Oscilaciones, masas, naturaleza y violación de CP
<b>TITLE:</b>	Neutrinos. Oscillations, masses, nature and CP violation.
<b>SUPERVISOR/ES:</b>	Antonio Dobado
<b>NÚMERO DE PLAZAS:</b>	2
<b>ASIGNACIÓN DE TFG:</b>	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) 169-21441st Internationale Universitaetswochen fur Theoretische Physik (International University School of Theoretical Physics): Flavor Physics (IUTP 41), 169-21, e-Print: hep-ph/0307149 [hep-ph]



## FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2022-23

### Ficha de Trabajo Fin de Grado

<b>DEPARTAMENTO:</b>	Física Teórica
<b>TÍTULO:</b>	Ondas gravitatorias y su detección
<b>TITLE:</b>	Gravitational waves and their detection
<b>SUPERVISOR/ES:</b>	Antonio Dobado
<b>NÚMERO DE PLAZAS:</b>	2
<b>ASIGNACIÓN DE TFG:</b>	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 2022-23

### Ficha de Trabajo Fin de Grado

<b>DEPARTAMENTO:</b>	FÍSICA TEÓRICA
<b>TÍTULO:</b>	Partículas fundamentales en el límite no relativista
<b>TITLE:</b>	Fundamental particles in the non-relativistic limit
<b>SUPERVISOR/ES:</b>	Clara Peset Martín
<b>e-mail Supervisor/es</b>	cpeset@ucm.es
<b>NÚMERO DE PLAZAS:</b>	1
<b>ASIGNACIÓN DE TFG:</b>	Selección directa <input type="checkbox"/> Selección por expediente <input checked="" type="checkbox"/>

#### OBJETIVOS:

Las partículas fundamentales son típicamente objetos relativistas, pero existen diversos escenarios en el que su comportamiento es no relativista, por ejemplo, en estados ligados como los átomos simples, o en la aniquilación de materia oscura en nuestro Universo. En este Trabajo de Fin de Grado se propone obtener un primer contacto con la física de partículas en su límite no relativista. Los objetivos del trabajo son

1. Analizar la formulación Lagrangiana y las ecuaciones de movimiento para una partícula (pseudo)escalar y (pseudo)vectorial
2. Realizar la expansión no relativista de los Lagrangianos y analizar las distintas interacciones.
3. A partir del Lagrangiano no relativista y la aproximación de Born, obtener los distintos tipos de potenciales generados por las partículas.
4. Estudiar los niveles de energía afectados por los potenciales calculados.
5. Estudiar numéricamente sistemas físicos que se vean afectados por los resultados obtenidos e interpretar su posible impacto.

#### 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 se desarrollará principalmente mediante cálculo analítico, combinando los resultados con el análisis numérico en la última parte. Se facilitará el acceso a la bibliografía más relevante.

#### BIBLIOGRAFÍA:

- M. E. Peskin and D. V. Schroeder, "An Introduction to quantum field theory", Avalon Publishing, 1995.
- A. Galindo and P. Pascual, "Quantum Mechanics I", Springer-Verlag, 1990.



- Suraj N. Gupta and Stanley F. Radford, "Quark-quark and quark-antiquark potentials". Phys. Rev. D **24**, 2309 (1981).

- A. Pineda and J. Soto, "Potential NRQED: The Positronium case," Phys. Rev. D **59**, 016005 (1999).