



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2024-25



## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica
<b>Título:</b>	Entrelazamiento en campos cuánticos en espaciotiempos curvos
<b>Title:</b>	Entanglement in quantum fields in curved spacetimes
<b>Tutor/es:</b>	Luis J. Garay, Álvaro Parra López
<b>E-mail tutor/es:</b>	luisj.garay@ucm.es, alvaparr@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	1
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

Se estudiarán algunos aspectos de la teoría cuántica de campos en espaciotiempos curvos mediante el análisis de modelos sencillos, haciendo especial énfasis en cuestiones relacionadas con entrelazamiento. Entre las posibles tareas a realizar, se hallan el estudio de la extracción de entrelazamiento del vacío en teoría de campos, o la caracterización del grado de entrelazamiento entre los pares producidos debidos a la expansión del espaciotiempo.

Adicionalmente, se analizarán las ambigüedades inherentes al proceso de cuantización de campos relativistas en estos procesos.

### 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:

- V. F. Mukhanov and S. Winitzki, Introduction to Quantum Effects in Gravity, Cambridge University Press, 2007
- N. D. Birrel and P. C. W. Davies, Quantum Fields in Curved Spacetime, Cambridge University Press, 1982
- R. Wald, Quantum field theory in curved spacetime and black hole thermodynamics, University of Chicago Press, 1994
- Agullo et al., How ubiquitous is entanglement in quantum field theory?, Physical Review D, 2023



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2024-25

## Ficha de Trabajo de 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>Tutor/es:</b>	Luis J. Garay, Álvaro Parra López
<b>E-mail tutor/es:</b>	luisj.garay@ucm.es, alvaparr@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	1
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### 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 de la producción gravitacional de partículas debida a la expansión del espaciotiempo o la radiación de Hawking en los procesos de colapso gravitatorio completo, así como su realización en modelos análogos de gravedad. Adicionalmente, se analizarán las ambigüedades inherentes al proceso de cuantización de campos relativistas en estos procesos.

### 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:

- V. F. Mukhanov and S. Winitzki, Introduction to Quantum Effects in Gravity, Cambridge University Press, 2007
- N. D. Birrel and P. C. W. Davies, Quantum Fields in Curved Spacetime, Cambridge University Press, 1982
- R. Wald, Quantum field theory in curved spacetime and black hole thermodynamics, University of Chicago Press, 1994



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2024-25



## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica
<b>Título:</b>	Agujeros negros en gravedad semiclásica
<b>Title:</b>	Black holes in semiclassical gravity
<b>Tutor/es:</b>	Álvaro Álvarez Domínguez, Luis J. Garay
<b>E-mail tutor/es:</b>	alvalv04@ucm.es, luisj.garay@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	1
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

- En primer lugar, se entenderán las herramientas propias de la teoría cuántica de campos en espaciotiempos curvos, analizando el proceso de cuantización canónica de campos de materia en escenarios no triviales.
- Se estudiarán los espaciotiempos de agujeros negros (como Schwarzschild o Reissner-Nordström) en el contexto de la relatividad general.
- Se entenderán las ambigüedades en la elección del vacío cuántico en estos escenarios.
- Se analizarán fenómenos cuánticos que ocurren en el seno de estos espaciotiempos donde la intensidad gravitatoria es enorme. En particular, uno de los aspectos en los que nos centraremos será en efectos de producción de partículas tales como el efecto Hawking.

### Metodología:

Usando las técnicas propias de la teoría cuántica de campos en espaciotiempos curvos, se procederá a la realización de cálculos (principalmente analíticos) que respondan a las cuestiones planteadas. Además, se hará uso de la bibliografía recomendada, además de analizar el estatus actual a través de algunos artículos científicos sobre el tema.

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

### Bibliografía:

- A. Fabbri, J. Navarro-Salas, Modeling black hole evaporation, Imperial College Press, 2005.
- N.D. Birrell, P.C.W. Davies, Quantum fields in curved space, Cambridge University Press, 1982.
- V. Mukhanov, S. Winiktzki, Introduction to Quantum Effects in Gravity, Cambridge University Press, 2007.
- R. Wald, Quantum field theory in curved spacetime and black hole thermodynamics, University of Chicago Press, 1994.



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2024-25

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica
<b>Título:</b>	El destino final del Universo
<b>Title:</b>	The final fate of the Universe
<b>Tutor/es:</b>	María del Prado Martín Moruno
<b>E-mail tutor/es:</b>	pradomm@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	2
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

- Conocer cuáles eran las predicciones sobre la evolución futura del Universo según los modelos cosmológicos desarrollados antes del descubrimiento de la expansión acelerada actual del Universo.
- Entender cuál es el futuro cósmico que predice el modelo cosmológico estándar.
- Familiarizarse con el concepto de singularidad cosmológica y los distintos tipos de destinos cósmicos.
- Comprender cómo la naturaleza de la energía oscura es la clave del destino cósmico.

## **Metodología:**

-Estudio de la bibliografía básica recomendada, realizando los cálculos necesarios para entender los distintos modelos cosmológicos.

-Análisis del estado actual del tema a través de artículos científicos.

-Una vez comprendidos los conceptos básicos del tema, la persona que realice el trabajo podrá especializarse en: la comprensión de las condiciones de energía y los problemas potenciales asociados a la energía fantasma, la aplicación de sistemas dinámicos en cosmología, la descripción de la energía oscura en el marco de las teorías de gravedad modificada... dependiendo de sus intereses y el desarrollo del trabajo.

## **Bibliografía:**

Se recomienda haber cursado o estar cursando “Geometría Diferencial y Cálculo Tensorial”, “Relatividad General y Gravitación” y “Cosmología”.

-R. M. Wald, General Relativity, The University of Chicago Press, 1984.

-R. R. Caldwell, M. Kamionkowski, N. N. Weinberg, “Phantom energy and cosmic doomsday”, Phys. Rev. Lett. 91 (2003) 071301.

-M. Bouhmadi-López, C. Kiefer and P. Martín-Moruno, “Phantom singularities and their quantum fate: general relativity and beyond”, Gen. Rel. Grav. 51 (2019) 135.



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2024-25



## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica
<b>Título:</b>	Introducción a gravedad cuántica de lazos
<b>Title:</b>	Introduction to loop quantum gravity
<b>Tutor/es:</b>	Mercedes Martín Benito
<b>E-mail tutor/es:</b>	m.martin.benito@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	1
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

El principal objetivo de este trabajo es introducirse en el problema de la cuantización no perturbativa de la gravedad. En particular introduciremos el formalismo conocido como gravedad cuántica de lazos, que se trata de una cuantización de la relatividad general independiente de estructuras de fondo y basada en las simetrías de la teoría clásica. Revisaremos los principios básicos en los que se basa este formalismo, pudiendo estudiarlo tanto desde un punto de vista canónico como covariante. Consideraremos, así mismo, el tratamiento dentro de gravedad cuántica de lazos de escenarios concretos, más sencillos de abordar que la teoría completa, como puedan ser cuantización de modelos cosmológicos o estudio de agujeros negros en este contexto.

### Metodología:

Estudio del estatus actual del tema a través de bibliografía recomendada y de algunos artículos científicos de revisión especializados. Seguimiento periódico del progreso del estudiante a través de reuniones con la tutora.

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

### Bibliografía:

- 1) R. Wald, General Relativity, University of Chicago Press, 1984.
- 2) P.A. Dirac, Lectures on Quantum Mechanics, Dover Publications, 2001.
- 3) Approaches to Quantum Gravity, edited by Daniele Oriti, Cambridge University Press, 2009.
- 4) 100 Years of General Relativity: volume 4 (Loop Quantum Gravity: the first 30 years). Editores: Abhay Ashtekar & Jorge Pullin, World Scientific, 2017.
- 5) Carlo Rovelli & Francesca Vidotto, Covariant Loop Quantum Gravity: An elementary introduction to Quantum Gravity and Spinfoam Theory, Cambridge University Press, 2015.



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2024-25

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica
<b>Título:</b>	Los primeros tres segundos: de la inflación cosmológica al Big Bang
<b>Title:</b>	The first three seconds: From inflation to the hot Big Bang
<b>Tutor/es:</b>	Javier Rubio
<b>E-mail tutor/es:</b>	javier.rubio@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	1
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

Las variaciones de temperatura del Fondo Cósmico de Microondas constituyen una instantánea de las perturbaciones de densidad primordiales que dieron lugar a la formación de estructuras. En este TFG, demostraremos que el tratamiento mecánico cuántico de las fluctuaciones de vacío en un espacio-tiempo de tipo de Sitter conduce a un espectro de perturbaciones en excelente acuerdo con las observaciones y a un fondo cósmico de ondas gravitacionales todavía por descubrir

### Metodología:

Reuniones periódicas con el supervisor y estudio guiado de capítulos de libros, apuntes y artículos científicos de carácter introductorio propuestos en la bibliografía, derivando algunas de las expresiones más relevantes en el campo. En algunas tareas concretas, el trabajo podría incluir la utilización de programas de cálculo numérico y/o simbólico relacionados con los objetivos propuestos, pero siempre a nivel utilizador.

### Bibliografía:

- [1] Introduction to Quantum Effects in Gravity, Viatcheslav Mukhanov y Sergei Winitzki, Cambridge University Press, 2007. Also online
- [2] <https://javierrubioblog.com/teaching/qftearlyuniverse/>
- [3] Inflationary Perturbations: the Cosmological Schwinger Effect, Jerome Martin, [arXiv:0704.3540](https://arxiv.org/abs/0704.3540).
- [4] The Quantum Mechanics of the Scalar Field in the New Inflationary Universe, Alan. H. Guth, So-Young Pi, *Phys.Rev.D* 32 (1985) 1899-1920



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2024-25

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica
<b>Título:</b>	Producción de materia oscura durante el recalentamiento
<b>Title:</b>	Dark matter production at preheating
<b>Tutor/es:</b>	Javier Rubio
<b>E-mail tutor/es:</b>	javier.rubio@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	1
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

La materia oscura juega un papel fundamental en la estructura y evolución del Universo. En este trabajo exploramos la producción de materia oscura durante el proceso de recalentamiento del Universo después de inflación, considerando acoplamientos puramente gravitacionales y directos entre ambos sectores y determinando la abundancia de materia oscura mediante diversas técnicas como la ecuación de Boltzmann y cálculos en el retículo.

### Metodología:

Reuniones periódicas con el supervisor y estudio guiado de capítulos de libros, apuntes y artículos científicos de carácter introductorio propuestos en la bibliografía, derivando algunas de las expresiones más relevantes en el campo. En algunas tareas concretas, el trabajo podría incluir la utilización de programas de cálculo numérico y/o simbólico relacionados con los objetivos propuestos, pero siempre a nivel utilizador.

### Bibliografía:

- [1] Particles in the Dark Universe: A Student's Guide to Particle Physics and Cosmology, Yann Mambrini, Springer 2012
- [2] UV Freeze-in in Starobinsky Inflation, N. Bernal, J. Rubio. H. Veermäe, JCAP 10 (2020), 021
- [3] Scalar dark matter production from preheating and structure formation constraints, M.A. G. Garcia, M. Pierre, S. Verner, PRD 107 (2023) 4, 045530,



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2024-25

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica
<b>Título:</b>	Correspondencias entre sistemas cuánticos multidimensionales en espacio de fases
<b>Title:</b>	Correspondences between multidimensional quantum systems in phase space
<b>Tutor/es:</b>	José Alberto Ruiz Cembranos
<b>E-mail tutor/es:</b>	cembra@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	2
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

Las correspondencias entre sistemas cuánticos multidimensionales son un área de importante actividad actual en la física teórica. Entre los distintos aspectos bajo estudio, podemos destacar las transformadas de Fourier en varias dimensiones, los mapeos de fase en relación con el teorema de Liouville, la teoría de grupos y simetrías o las dualidades en teoría de cuerdas y teoría de campos. En esencia, estas correspondencias se refieren a cómo se relacionan las propiedades y comportamientos de distintos sistemas cuánticos. En este trabajo, se trabajará dentro del espacio de fases de la mecánica cuántica, entendiendo por este, al espacio abstracto en el que se representan conjuntamente las coordenadas de posición y momento de una partícula. Para sistemas unidimensionales, este espacio de fases es bidimensional (posición y momento). Sin embargo, para sistemas con más de una dimensión, el espacio de fases se vuelve multidimensional.

El objetivo de este trabajo consiste en analizar distintas correspondencias entre sistemas cuánticos en el formalismo de espacio de fases. De hecho, la descripción más elegante de la física clásica consiste en su formulación en 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 en espacio de fases aún no se ha generalizado en los programas docentes ni en los grados ni en los postgrados de física.

## Metodología:

Dentro de este proyecto, los alumnos trabajarán 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, las asignaturas más relacionadas con el trabajo son las asignaturas optativas de cuarto: "Mecánica Teórica" y "Campos Cuánticos", mientras que también son recomendables las asignaturas de "Coherencia Óptica y Láser", "Relatividad General y Gravitación" y "Cosmología".

En particular, los estudiantes desarrollarán un trabajo fundamentalmente teórico sobre la formulación simpléctica de la mecánica cuántica. Para ello, establecerán y desarrollarán sus conceptos básicos utilizando como variables posiciones y momentos simultáneamente. Con tal objetivo, los alumnos leerán una serie de referencias cuyos resultados deberá reproducir, interpretar y desarrollar en distintos contextos. Dependiendo del estudiante, el trabajo se centrará en la formulación de Wigner o en el espacio de Segal–Bargmann.

## Bibliografía:

- [1] H. J. Groenewold, "On the Principles of elementary quantum mechanics", *Physica*, 12 (1946) pp. 405–460.
- [2] J. E. Moyal, "Quantum mechanics as a statistical theory", *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 45 (1949) pp. 99–124.
- [3] H. Weyl, "Quantenmechanik und Gruppentheorie", *Zeitschrift für Physik*, 46 (1927) pp. 1–46
- [4] E. P. Wigner, "On the quantum correction for thermodynamic equilibrium", *Phys. Rev.* 40 (June 1932) 749–759.
- [5] Curtright, T. L.; Zachos, C. K. (2012). "Quantum Mechanics in Phase Space". *Asia Pacific Physics Newsletter*. 01: 37–46.
- [6] Cohen, L. (1966). "Generalized Phase-Space Distribution Functions". *Journal of Mathematical Physics*. 7 (5): 781–786. Bibcode:1966JMP.....7..781C
- [7] G. Baker, "Formulation of Quantum Mechanics Based on the Quasi-probability Distribution Induced on Phase Space," *Physical Review*, 109 (1958) pp. 2198–2206.
- [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.
- [10] M. Oliva, D. Kakofengitis, and O. Steuernagel (2018). "Anharmonic quantum mechanical systems do not feature phase space trajectories". *Physica A*. 502: 201–210.
- [11] Marinov, M.S. (1991). "A new type of phase-space path integral". *Physics Letters A*. 153 (1): 5–11.
- [12] Curtright, T. L. Time-dependent Wigner Functions



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2024-25

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica
<b>Título:</b>	Dualidades de la función de Schrödinger y su extensión al formalismo simpléctico
<b>Title:</b>	Dualities of the Schrödinger function and their extension to symplectic formalism
<b>Tutor/es:</b>	José Alberto Ruiz Cembranos
<b>E-mail tutor/es:</b>	José Alberto Ruiz Cembranos
<b>Número de plazas:</b>	2
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

En el formalismo simpléctico, las dualidades asociadas con la función de Schrödinger destacan aspectos fundamentales de la mecánica. Por ejemplo, una dualidad clave se manifiesta en la inversión de la escala espacial y el momento angular. Adicionalmente, en un sistema con un potencial de interacción con simetría esférica, el cambio en la escala espacial del potencial puede equipararse a una rotación en el espacio de los momentos angulares asociados. Esta dualidad subraya cómo ciertas transformaciones en el potencial de interacción se reflejan en cambios equivalentes en las propiedades angulares del sistema, y viceversa. Estas dualidades ilustran la profunda conexión entre las simetrías de la interacción y las propiedades físicas fundamentales de los sistemas cuánticos descritos por la función de Schrödinger.

El objetivo de este trabajo consiste en analizar distintas dualidades dentro del formalismo simpléctico de la mecánica cuántica trabajando con interacciones específicas. 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.

## 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, las asignaturas más relacionadas con el trabajo son las asignaturas optativas de cuarto: "Mecánica Teórica" y "Campos Cuánticos", mientras que también son recomendables las asignaturas de "Coherencia Óptica y Láser", "Relatividad General y Gravitación" y "Cosmología".

En particular, los estudiantes desarrollarán un trabajo fundamentalmente teórico sobre la formulación simpléctica de la mecánica cuántica. Para ello, establecerán y desarrollarán sus conceptos básicos utilizando como variables posiciones y momentos simultáneamente. Con tal objetivo, los alumnos leerán una serie de referencias cuyos resultados deberá reproducir, interpretar y desarrollar en distintos contextos. Dependiendo del estudiante, el trabajo se centrará en la formulación de Wigner o en el espacio de Segal–Bargmann.

## Bibliografía:

- [1] H. J. Groenewold, "On the Principles of elementary quantum mechanics", *Physica*, 12 (1946) pp. 405–460.
- [2] J. E. Moyal, "Quantum mechanics as a statistical theory", *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 45 (1949) pp. 99–124.
- [3] H. Weyl, "Quantenmechanik und Gruppentheorie", *Zeitschrift für Physik*, 46 (1927) pp. 1–46
- [4] E. P. Wigner, "On the quantum correction for thermodynamic equilibrium", *Phys. Rev.* 40 (June 1932) 749–759.
- [5] Curtright, T. L.; Zachos, C. K. (2012). "Quantum Mechanics in Phase Space". *Asia Pacific Physics Newsletter*. 01: 37–46.
- [6] Cohen, L. (1966). "Generalized Phase-Space Distribution Functions". *Journal of Mathematical Physics*. 7 (5): 781–786. Bibcode:1966JMP.....7..781C
- [7] G. Baker, "Formulation of Quantum Mechanics Based on the Quasi-probability Distribution Induced on Phase Space," *Physical Review*, 109 (1958) pp. 2198–2206.
- [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.
- [10] M. Oliva, D. Kakofengitis, and O. Steuernagel (2018). "Anharmonic quantum mechanical systems do not feature phase space trajectories". *Physica A*. 502: 201–210.
- [11] Marinov, M.S. (1991). "A new type of phase-space path integral". *Physics Letters A*. 153 (1): 5–11.
- [12] Curtright, T. L. Time-dependent Wigner Functions



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2024-25

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica
<b>Título:</b>	Ondas Gravitacionales: Agujeros Negros, Estrellas de Neutrones...
<b>Title:</b>	Gravitational Waves: Black Holes, Neutron Stars...
<b>Tutor/es:</b>	Luis Manuel González Romero
<b>E-mail tutor/es:</b>	mgromero@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	2
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

El objetivo del trabajo es el estudio de las propiedades de los agujeros negros y/o las estrellas de neutrones y su descripción dentro de la teoría de la relatividad general o teorías alternativas. El trabajo incluye la obtención de modelos numéricos con ordenador, utilizando lenguajes de programación (Maple, Python, Matlab,...). Las oscilaciones no radiales de los agujeros negros y las estrellas de neutrones pueden emitir ondas gravitacionales. En el trabajo se analizarán las propiedades de dichas ondas gravitacionales y su relación con las detecciones del observatorio LIGO.

### Metodología:

Estudio de la bibliografía sobre el tema 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.
3. V. Ferrari, L. Gualtieri, P. Pani, General Relativity and its Applications, CRC Press, 2021.
4. K. D. Kokkotas, B. G. Schmidt, Quasi-normal Modes of Stars and Black Holes, Living Reviews in Relativity 2:2,1999. (<https://doi.org/10.12942/lrr-1999-2>).
6. J.L. Blázquez-Salcedo, F. S. Khoo, J. Kunz, L.M. González-Romero, Quasinormal modes of Kerr black holes using a spectral decomposition of the metric perturbation. Phys. Rev. D 109, 064028 (2024) <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.109.064028> .
5. F. S. Khoo et al, Quasinormal modes of rapidly rotating Ellis-Bronnikov wormholes. Phys. Rev. D 109, 084013 (2024) (<https://doi.org/10.1103/PhysRevD.109.084013>) .



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2024-25

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Física Teórica
<b>Título:</b>	Fundamentos de la Gravedad Cuántica
<b>Title:</b>	Foundations of Quantum Gravity
<b>Tutor/es:</b>	Daniele Oriti
<b>E-mail tutor/es:</b>	doriti@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	2
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

Los estudiantes tendrán una introducción a las cuestiones generales a abordar en la construcción de una teoría de la gravedad cuántica y del espacio-tiempo cuántico, a nivel matemático, físico y conceptual. Obtendrán una imagen básica de los distintos enfoques de estos temas, y una comprensión más detallada de algunos de ellos, trabajando en uno específico en un contexto simple (elegido según los antecedentes y preferencias de los estudiantes). Algunos de los temas que se cubrirán se superpondrán con cuestiones relacionadas con los fundamentos de la mecánica cuántica y la cosmología fundamental.

### Metodología:

Estudio de los temas a través de la bibliografía recomendada, algún material adicional introductorio o de repaso y algunos artículos científicos especializados. Se recomienda haber estudiado o estar estudiando "Mecánica Cuántica", y "Mecánica Teórica", y, posiblemente, "Relatividad General y Gravitación" y "Teoría de Campos Cuánticos".

### Bibliografía:

R. Wald, General Relativity, University of Chicago Press, 1984.

A. Peres, Quantum Theory: concepts and methods, Kluwer, 1997

J. Butterfield, C. Isham, arXiv: gr-qc/9903072

Approaches to Quantum Gravity, edited by Daniele Oriti, Cambridge University Press, 2009 Press, 2009.