

Research statement

Alejandro José Florido Tomé

22 de octubre de 2024

1. **Grado en Física** en la Universidad de Córdoba (UCO), España - Media de 7.51:

- a) Los tres primeros años los realicé en la UCO, destacando en las siguientes asignaturas:
- Análisis Matemáticos II : toda la teoría tras los distintos tipos de integrales.
 - Métodos Matemáticos II : resolución teórica de las ecuaciones diferenciales ordinarias, EDOs.
 - Métodos Matemáticos III : ecuaciones en derivadas parciales, EDPs, como la del calor y la de ondas, juntos a los espacios de Hilbert.
 - Métodos Numéricos y Simulación : resolución numérica con Matlab de las EDOs y EDPs.
 - Mecánica y Ondas II : ecuaciones de Lagrange y de Hamilton, junto al estudio de ondas mecánicas en medios continuos.
 - Física Estadística : primer contacto a la mecánica cuántica con el estudio de gases de Fermi-Dirac y Bose-Einstein.
 - Astrofísica y Cosmología : introducción, destacando las ecuaciones de Friedmann.
- b) **Alumno colaborador al departamento de Física de la UCO** junto a Beatriz Ruiz Granados para contextualizarme de manera teórica con las ondas gravitacionales, obteniéndolas a partir de las ecuaciones de Einstein para comprender su origen.
- c) **Programa SICUE en la Universidad de Granada (UGR)**. Destacar las asignaturas:
- Astrofísica : estelar y galáctica
 - Relatividad General : teoría de Einstein junto a los agujeros negros y a las ondas gravitacionales.
 - Mecánica Cuántica : postulados, función de onda, simetrías, teoría de perturbaciones y teoría de colisiones.
 - Física Nuclear y de Partículas : elementos del modelo estándar y fenomenología nuclear.
 - Física Atómica y Molecular : átomos de uno y muchos electrones, en presencia de campos externos, y moléculas diatómicas.
- d) **Trabajo Fin de Grado - Ondas gravitacionales: Derivación de la ecuación y simulaciones - Nota: Matrícula de honor** - Tutora: Beatriz Ruiz Granados.
- Fue una introducción teórica para obtener la ecuación de ondas a partir de la aproximación de campo débil en el vacío y en presencia de fuentes, para una métrica de Minkowski o general. Proseguí estudiando sus modos de oscilación, relacionada con el espín del "gravitón". Y finalmente aplicando los conocimientos al sistema binario de dos agujeros negros tratándolas como partículas puntuales.

2. **Programa captación de talentos** en la UGR, España - Estudio y creación de redes metal-orgánicas luminiscentes conteniendo ácido de pirazina-2.3-dicarboxílico.

Creación de cristales con propiedades luminiscentes gracias a una beca que me fue concedida por la UGR.

3. **Máster en Física Avanzada, especialidad Astrofísica** en la Universidad de Valencia:

- a) Las asignaturas de interés que realicé son:

- **Teoría cuántica de campos I:** estudios de los campos de Klein-Gordon, Dirac, de fotón y Maxwell-Proca. Cálculo de las secciones eficaces y anchuras de desintegración usando las reglas de Feynmann. Aparición de las interacciones fundamentales. Introducción a la renormalización.
- **Partículas elementales:** mecanismo de Higgs. Estudio de la interacción fuerte y quarks. Modelo de Glashow-Weinberg-Salam de la interacción electrodébil. Cromodinámica cuántica y fenomenología de la interacción fuerte. Nueva física más allá del Modelo Estándar.
- **Cosmología:** modelos de Friedmann-Robertson-Walker. Estructura a gran escala. Descripción estadística de la estructura cósmica. Universo como mezcla de especies en interacción junto al estudio de su desacople durante la evolución cósmica. Lentes gravitatorias y medición de las masas de galaxias. Fondo cósmico de microondas y sus anisotropías.
- **Relatividad General:** fundamentos de la Relatividad General. Formalismo evolutivo de las ecuaciones de Einstein usando la formulación 3+1. Hidrodinámica y electrodinámica en espacios-tiempos curvos. Magneto-hidrodinámica relativista. Relatividad numérica.
- **Astrofísica Estelar:** etapas evolutivas avanzadas y evolución tras la Secuencia Principal. Enanas blancas. Estrellas de neutrones. Supernovas y colapso estelar. Acreción en Astrofísica. Chorros relativistas.

b) Beca de iniciación a la investigación: estudio de la anomalía electromagnética usando un catálogo de ondas gravitacionales

Se usaron cientos de ondas gravitacionales asociadas a colisiones de agujeros negros para calcular el flujo neto de ondas gravitacionales circularmente polarizadas, siendo solamente no nulo cuando se rompa la simetría de espejo, relacionada linealmente con la velocidad final del objeto resultante. Estas asimetrías podrían servirnos para probar en un futuro las simetrías a gran escala de nuestro Universo. Las simulaciones fueron realizadas con Python.

ACTUAL INVESTIGACIÓN: estamos Nicolás Sanchis Gual del Departamento de Astronomía y Astrofísica de la Universidad de Valencia, Adrián del Río Vega del departamento de Matemáticas de la Universidad Carlos III de Madrid, Juan Calderón Bustillo del Instituto Gallego de Física de Altas Energías de la Universidad de Santiago de Compostela, y yo mismo escribiendo un artículo sobre mis principales resultados.

c) Estancia de investigación: estudio de estrellas de bosones

Gracias a la beca que me proporcionaron pude realizar una estancia de investigación de 2 meses en el grupo de investigación 'Gravity theory and gravitational wave phenomenology' de La Sapienza Universidad de Roma, Italia, junto a Paolo Pani y a Massimo Vaglio.

Fue una introducción teórica a estos objetos, a las estrellas de bosones, que son condensados de Bose-Einstein macroscópicos capaces de aparentar ser agujeros negros o explicar la materia oscura presente en las galaxias. Tomamos un potencial para la auto-interacción entre las partículas nunca antes usado en el régimen de altos valores, y comprobamos que el modelo completo y uno simplificado daban lugar a los mismos resultados.

En un futuro queremos estudiar este objeto en rotación para obtener sus estructuras multipolares.

d) Trabajo fin de máster: Formación dinámica y estabilidad de estrellas de bosones multi-estado - Nota: 9.5 - Tutores: Nicolás Sanchis Gual y Adrián del Río Vega.

Se estudió la formación dinámica y estabilidad de dos campos escalares complejos masivos acoplados a la gravedad. Para ello se resolvieron las ecuaciones de Einstein-Klein-Gordon de manera numérica con Fortran. Se acabaron comparando las curvas de rotación de estos objetos con el de las galaxias, pudiendo tratarse de candidatos a materia oscura.

ACTUAL INVESTIGACIÓN: estamos Nicolás Sanchis Gual y yo trabajando en las simulaciones para hallar la masa crítica de estos objetos, y comprobar si se forman estados excitados en uno de los campos escalares al ser acrecido por el otro.

4. **Beca completa UIMP - The Laplacian and Beyond. Celebrating the mathematics of Luis Caffarelli**, en la Universidad Internacional Méndez Pelayo, España.

Asistieron expertos de las ecuaciones en derivadas parciales, destacando Xavier Cabré, Alessio Figalli que fue galardonado con la medalla Fiels, y el propio Luis Caffarelli quién tiene el premio Abel de 2023, entre muchos otros ponentes.

Se presentaron el uso de herramientas en ecuaciones en derivadas parciales no lineales, y el estudio de las regularidades en condiciones de frontera libres en el problema del obstáculo.

5. **Beca Parcial Traveltalent - Aprendizaje de habilidades sociales y laborales en Edimburgo**, cooperada por Travel Talent.

Viví una experiencia intercultural para mejorar mis habilidades sociales, laborales y de liderazgo, mientras mejoraba mi nivel de inglés, esencial para la investigación.

6. **Máster Interuniversitario en Matemáticas** en la UGR, junto a la Universidad de Cádiz (UCA), Universidad de Málaga (UMA), Universidad de Almería (UAL) y Universidad de Jaén (UJA).

En la actualidad estoy realizando este máster por mi interés continuo por las matemáticas.

El **doctorado** sería mi **PRIORIDAD** y a lo que me dedicaría enteramente.

7. **Mathematical Intuition behind String Theory**, curso impartido por Emanuele Pesaresi.

Sigue las notas de David Tong sobre la teoría de cuerdas. He aprendido los fundamentos de esta teoría partiendo de la partícula puntual relativista en N-dimensiones, derivando las ecuaciones de movimiento para una cuerda cerrada relativista a partir de la acciones de Nambu-Goto y Polyakov; cómo cuantizar la cuerda; concepto de fantasmas y cómo eliminarlos; partículas precedidas como el gravitón; derivación de las ecuaciones de Einstein.

8. **Quantum Gravity: from Gravitational Waves to Gravitons**, curso impartido por Emanuele Pesaresi.

Sigue los libros de teoría cuántica de campos de Edouard B. Manoukian. He aprendido los fundamentos de la cuantización de la gravedad dentro de la teoría cuántica de campos; derivado aspectos clásicos y cuánticos de la gravedad; probabilidad de encontrar gravitones y de resolver ecuaciones para campos sin masa de espín 2; aplicado las integrales de camino y la función de partición en la gravedad cuántica.

9. **Congresos asistidos:**

- a) **First EUCapt School: Cosmology**, en la Universidad de Valencia.

Entre los ponentes estaban Carlo Contaldi, Daniel G. Figueroa, Mark Hindmarsh y David Wands, entre otros.

Se trataron la inflación y perturbaciones primordiales, energía oscura, transiciones de fase en el universo temprano, simulaciones y métodos estadísticos en Cosmología, fondo estocástico de ondas gravitacionales, agujeros negros primordiales y ondas gravitacionales primordiales.

- b) **V Congreso Nacional de estudiantes de Física**, en la UCO.

Destacan las ponencias de Alicia Sintès sobre las ondas gravitacionales, y la de Clara Cuesta sobre los experimentos detrás de los neutrinos.

- c) **I TEONGRAV international workshop on theory of gravitational waves**, en la Sapienza Universidad de Roma.

Se trataron la relatividad numérica en gravedad fuerte, modelos de las formas de ondas fenomenológicas para binarias de estrellas de neutrones, ondas gravitacionales de objetos compactos subsolares, estudio del ringdown, origen de agujeros negros estables desde la gravedad cuántica, formación de agujeros negros primordiales a partir de un campo escalar no masivo, etc.

Destacan Eleonora Troja, Helvi Witek, Gregorio Carullo, Raffaella Schneider, entre otros.

Sin duda alguna, me especializo en las ondas gravitacionales y en las nubes bosónicas como candidatos a materia oscura. Durante estos meses me encontraré escribiendo los artículos mencionados anteriormente, los cuáles tendrán como implicaciones:

- Probar las simetrías de nuestro Universo, para calcular si la contribución debida a la ruptura de simetría de espejo puede llegar a ser suficiente para explicar por qué estamos hechos de materia y no de antimateria.
- Probar si la materia oscura ligera escalar es un candidato real para describir los halos de materia oscura, y hallar la masa de la partícula asociada a partir de las observaciones.

Hay una gran cantidad de temas de interés donde podría aportar al grupo de física de las altas energías, sobre todo dentro del marco teórico que es donde me he estado desarrollando todos estos años, junto a las simulaciones correspondientes. Me interesa la búsqueda de la teoría de la unificación, el estudio de campos bosónicos escalares e incluso vectoriales como candidatos a materia oscura, la inflación temprana del Universo, teoría de cuerdas y gravedad cuántica de campos, las ondas gravitacionales en general, como por ejemplo las producidas en transiciones de fases cósmicas, entre muchos otros. Gracias a mi máster en astrofísica complementada con los cursos y asignaturas de física teórica, tengo un amplio margen de maniobra donde aportar.