

Defectos topológicos en teorías de campos clásicas y cuánticas

Objetivo del proyecto

Este proyecto se centra en el análisis de procesos de scattering entre soluciones de tipo solitón o kink –defectos topológicos– que surgen en ecuaciones en derivadas parciales de tipo Klein-Gordon no lineales asociadas a teorías de campos escalares. Estas soluciones pueden interpretarse, desde el punto de vista físico, como partículas extendidas. El choque entre dos de estos defectos constituye un fenómeno altamente complejo, caracterizado por la aparición de interacciones internas poco exploradas y cuya dinámica depende de manera crítica de la velocidad de colisión. Según el valor de dicha velocidad, los kinks pueden:

- formar un estado ligado cuasiestable,
- aniquilarse mutuamente,
- colisionar y separarse tras el impacto, o
- experimentar un régimen resonante en el que rebotan un número finito de veces antes de escapar.

La distribución de las ventanas de velocidad que dan lugar a estos comportamientos resonantes presenta, además, una estructura fractal. El objetivo fundamental del proyecto es investigar estos fenómenos en distintos modelos con dos o más campos escalares. Asimismo, se aborda el estudio de situaciones en las que los campos están confinados en una esfera –u otras variedades riemannianas– lo que permite establecer correspondencias con modelos de cadenas de espines. Finalmente, el proyecto incluye el análisis de procesos de scattering en teorías que incorporan campos vectoriales, en las que los defectos topológicos relevantes son vórtices o monopolos.

Participantes del proyecto

Instituto Universitario de Física Fundamental y Matemáticas - IUFFyM, <https://iuffym.usal.es/>

SCAYLE, Supercomputación Castilla y León (España), www.scayle.es

Ejecución: 2025.

Financiación del proyecto

European Union-Next Generation UE/MICIU.

Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.

Junta de Castilla y León.

Funciones de SCAYLE

El análisis de la evolución de soluciones tipo solitón o kink en ecuaciones de Klein-Gordon no lineales requiere la ejecución de algoritmos altamente exigentes desde el punto de vista computacional, especialmente cuando se busca obtener una descripción detallada y de alta resolución de los distintos escenarios posibles en los procesos de scattering entre defectos topológicos. La aparición

de fenómenos de resonancia introduce además una fuerte dependencia caótica respecto a las velocidades de colisión, lo que se traduce en distribuciones complejas –a menudo de carácter fractal– de las velocidades finales tras el choque. Debido a esta sensibilidad extrema a las condiciones iniciales, es necesario lanzar millones de simulaciones para caracterizar de manera fiable el comportamiento del sistema y reconstruir el mapa completo de dinámicas posibles. En este contexto, el supercomputador de SCAYLE constituye un recurso absolutamente esencial para el desarrollo de la investigación. La infraestructura de Caléndula, con su elevado número de procesadores y su gran capacidad de memoria, permite ejecutar estos experimentos numéricos de forma masiva y en paralelo, reduciendo drásticamente los tiempos de cómputo y haciendo viable un análisis exhaustivo del problema. Gracias al acceso a SCAYLE es posible abordar el estudio de los procesos de scattering entre defectos topológicos con un nivel de detalle que sería inalcanzable mediante recursos computacionales convencionales.

Justificación del proyecto

El análisis de soluciones de tipo defecto topológico en ecuaciones no lineales constituye un campo de investigación especialmente activo desde hace décadas, ya que ofrece un marco adecuado para describir diversos fenómenos físicos que no pueden entenderse desde modelos lineales. Entre las aplicaciones más destacadas se encuentran los procesos de superconductividad y superfluidez en Materia Condensada, el comportamiento de ciertos polímeros unidimensionales –como el polioxietileno, de notable relevancia biomédica y biotecnológica–, así como la formación de paredes de dominio en el universo temprano dentro del ámbito de la Cosmología, entre otros ejemplos significativos. En todos estos contextos, la aparición e interacción de estructuras topológicas constituye un escenario físicamente plausible. Por ello, resulta fundamental comprender los distintos procesos de scattering que pueden producirse entre estos defectos, ya que su dinámica influye de manera decisiva en la caracterización y evolución de los fenómenos asociados a estas soluciones no lineales. Asimismo, el estudio de la dependencia de los procesos de colisión con respecto a la velocidad de

impacto de los defectos topológicos representa un elemento clave, dado que determina en gran medida tanto el resultado de las interacciones como las posibles transiciones entre diferentes regímenes dinámicos.

Líder del proyecto

El Grupo de Física Matemática de la Universidad de Salamanca (<https://produccioncientifica.usal.es/grupos/3853/detalle>) es una Unidad de Investigación Consolidada de la Junta de Castilla y León (UIC 411) y un grupo de investigación reconocido de la Universidad de Salamanca. El grupo está constituido por cinco investigadores senior de la Universidad de Salamanca y cinco investigadores jóvenes que han acabado o se encuentran en fase de acabar su tesis doctoral. Las líneas de investigación de este grupo involucran el estudio de defectos topológicos en Teorías de Campos Clásicas y Cuánticas, Mecánica cuántica supersimétrica, sistemas dinámicos integrables, etc.



Funded by
the European Union
NextGenerationEU



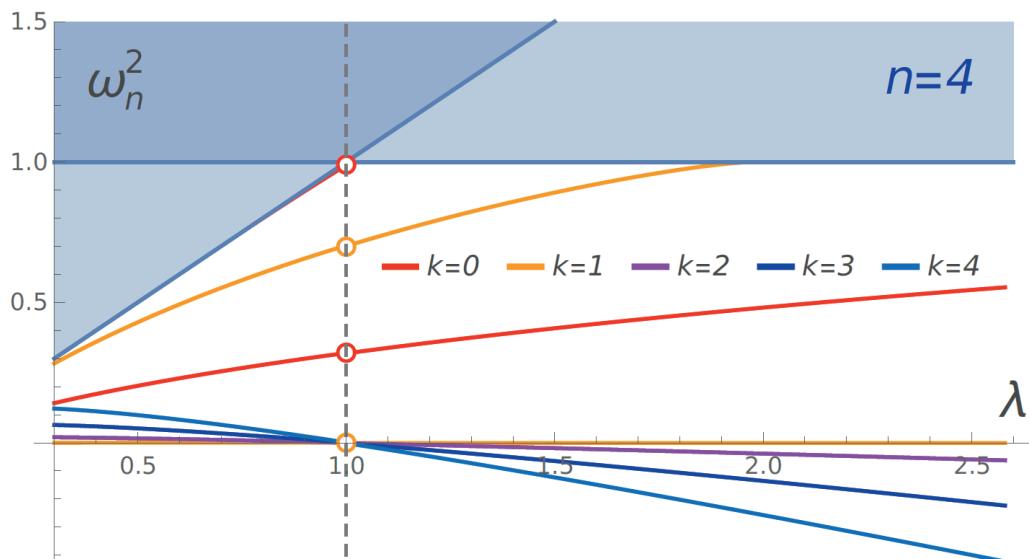
Gobierno
de España
MINISTERIO
PARA LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL
Y DE LA FUNCIÓN PÚBLICA



Plan de
Recuperación,
Transformación
y Resiliencia



Junta de
Castilla y León Referencia: PRTRC17.11 y RED2022-134301-T y PID2023-148409NB-I00 MTM



Estructura espectral para un 4-vortex rotacionalmente invariante como una función de la constante de acoplamiento en el Modelo Abeliano de Higgs.