

Defectos topológicos en teorías de campos

Supercomputación de Colisiones y Correcciones Cuánticas

Objetivo del proyecto

Este proyecto se enmarca en el estudio del scattering de soluciones de tipo solitón o kink (defectos topológicos) que aparecen en las ecuaciones en derivadas parciales de tipo Klein-Gordon no lineales asociadas a teorías de campos escalares. Estas soluciones pueden ser interpretadas como partículas extensas en el marco físico. El choque de dos de estas soluciones constituye un proceso complejo que deriva en interacciones internas de los defectos topológicos poco conocidas y que dependen de forma crítica de la velocidad de impacto. Existen rangos de la velocidad de colisión en los que los kinks: (1) se ven forzados a formar un estado ligado cuasi-estable, (2) se aniquilan entre sí, (3) chocan y rebotan alejándose, (4) entran en resonancia rebotando un número finito de veces antes de escapar. La distribución de las ventanas de velocidades iniciales donde aparece resonancia sigue una estructura fractal.

El objetivo de este proyecto es estudiar estos fenómenos en distintos modelos de teorías de dos o más campos escalares. Se estudia además el caso en el que los campos están confinados en una esfera (o en otra variedad Riemanniana), lo que permite describir modelos asociados a cadenas de espines. También resulta de interés en este proyecto analizar los procesos de scattering en modelos que involucran campos vectoriales, en los que los defectos topológicos a tratar son vórtices o monopolos.

Líder del proyecto

GRUPO DE FÍSICA MATEMÁTICA de la Universidad de Salamanca, es un grupo de investigación reconocido de la Universidad de Salamanca que a su vez está integrado en la Unidad de Investigación Consolidada de Física Matemática de la Junta de Castilla y León (UIC 011 MathPhys-CyL) desde 2015.

El grupo está constituido por cuatro investigadores senior de la Universidad de Salamanca, uno de la Universidad de Oviedo y dos investigadores en formación en la Usal.

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.

Participantes del proyecto

Universidad de Salamanca, www.usal.es

Instituto Universitario de Física Fundamental y Matemáticas (IUFFyM) de la Universidad de Salamanca, <http://campus.usal.es/~mpg/>

UIC Física Matemática de Castilla y León, <http://mathphys.uva.es/mathphys-cyl/>

SCAYLE, Supercomputación Castilla y León, www.scayle.es

Periodo de ejecución

Junio del año **2019** a diciembre del **2021**.

Financiación del proyecto

Subvenciones destinadas al apoyo de los Grupos de Investigación Reconocidos de las Universidades públicas de Castilla y León. Junta de Castilla y León.

Funciones de SCAYLE

El estudio de la evolución de soluciones de tipo soliton o kink en las ecuaciones de Klein-Gordon no lineales exige la ejecución de algoritmos que requieren un alto nivel de cálculo computacional para tener una fotografía de alta resolución de los posibles escenarios en el proceso de scattering de defectos topológicos.

Los fenómenos de resonancia implican la presencia de una dependencia caótica de las velocidades de choque (introduciendo una distribución de las velocidades finales que involucran patrones fractales).

Este comportamiento exige el lanzamiento de millones de simulaciones en el choque de kinks para tener una visión precisa del comportamiento del scattering de estos objetos. Es en este punto donde el supercomputador de SCAYLE representa un papel esencial en nuestra investigación, permitiendo realizar estas simulaciones de forma paralela (aprovechando el gran número de procesadores con altas prestaciones de memoria de las que dispone Caléndula) en un tiempo de ejecución razonable.

Gracias a SCAYLE se pueden abordar problemas sobre el comportamiento de defectos topológicos que de otra forma no sería viable. Algunos de los resultados obtenidos gracias a estas técnicas implementadas en Caléndula han sido publicados recientemente:

“Kink dynamics in the MSTB Model”, A. Alonso-Izquierdo, Phys. Scr. 94 (2019) 085302.

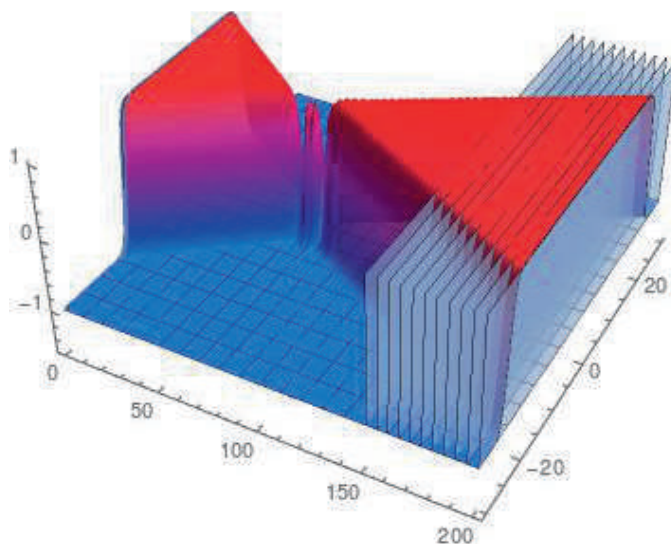
“Asymmetric kink scattering in a two-component scalar field theory model”, A. Alonso-Izquierdo, Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simulat. 75 (2019) 200-219.

Justificación del proyecto

El estudio de las soluciones de tipo defecto topológico que aparecen en ecuaciones no lineales es un ámbito de investigación muy activo desde hace ya varias décadas, dado que permite explicar algunos fenómenos físicos que no tenían parangón desde la perspectiva de las teorías lineales.

La presencia de fenómenos de superconductividad y superfluidez en Materia Condensada, las propiedades de algunos polímeros unidimensionales como el polioxietileno con amplias aplicaciones biomédicas y biotecnológicas, la evolución del universo temprano a través de la formación de paredes de dominio en Cosmología, etc., son ejemplos particulares del marco general aludido previamente. En cada uno de dichos casos la presencia de estructuras topológicas que interactúan entre sí es un escenario muy probable en la realidad.

Es, por tanto, imprescindible comprender los posibles eventos de scattering que pueden darse, y que pueden alterar la naturaleza de los fenómenos explicados por este tipo de soluciones no lineales. El análisis de la dependencia de dichos procesos de choque con respecto a la velocidad de impacto de los defectos topológicos es también un aspecto esencial de este tipo de estudios.



Proceso de scattering entre dos kinks en el modelo ϕ^4 que sufren dos colisiones como mediación del mecanismo de transferencia de energía resonante.