

MMQP, New Developments in Mathematical Modelling of Quantum Phenomena

Objetivo del proyecto

Una parte importante de este proyecto es el estudio de los defectos topológicos o solitones topológicos, que aparecen como soluciones de las ecuaciones en derivadas parciales de Teorías Cuánticas de Campos no lineales. Este área ha sido muy desarrollada en las últimas décadas, motivada por la gran variedad de aplicaciones científicas y tecnológicas que presenta como por ejemplo su relevancia en la explicación de fenómenos no lineales como la superconductividad y la superfluidez en Física de la Materia Condensada, la transmisión de pulsos no disipativos en Óptica, la generación de paredes de dominio en Cosmología, la comprensión de inesperadas propiedades en física de polímeros con aplicaciones en Biomedicina y Biotecnología, o la descripción de la dinámica de defectos en cadenas de espines con aplicación en nuevas tecnologías como la Espintrónica.

El comportamiento de los defectos topológicos bajo colisiones (scattering) representa un problema muy complejo desde el punto de vista matemático, y requiere el uso de métodos numéricos avanzados y técnicas de supercomputación novedosas, que se desarrollan en este proyecto. El objetivo final es por tanto 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.

Participantes del proyecto

Universidad de Salamanca, www.usal.es

Universidad de Valladolid, www.uva.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

2021 a 2024.

Financiación del proyecto

Ministerio de Ciencia e Innovación.

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. En cada uno de dichos fenómenos 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.

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.

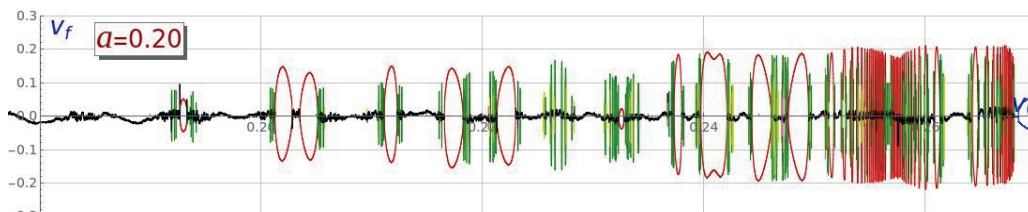
Gracias a SCAYLE se pueden abordar problemas sobre el comportamiento de defectos topológicos que de otra forma no sería viable.

Líder del proyecto

GIR de Física Matemática de la Universidades de Salamanca y Valladolid, que a su vez forman parte de la UIC de Física Matemática de Castilla y León (UIC011 Math-Phys-CyL) desde 2015.



Referencia PID2020-113406GB-I00 MTM



Sección del diagrama de velocidades finales como función de las velocidades iniciales en el scattering de wobbling kinks viajando en trayectoria de colisión en contrafase para una amplitud de vibración igual $a=0.2$. Puede observarse la complejidad de la estructura fractal que aparece en este tipo de eventos.