

Título: DEFECTOS TOPOLOGICOS EN CONDENSADOS DE BOSE-EINSTEIN DE GASES ATÓMICOS CONFINADOS EN TRAMPAS MAGNETO-ÓPTICAS

Nombre: MUÑOZ MATEO, ANTONIO

Universidad: Universidad de La Laguna

Departamento: Física fundamental II

Fecha de lectura: 28/02/2013

Programa de doctorado: Estructura de la Materia

Dirección:

> **Director:** VICENTE DELGADO BORGES

Tribunal:

> **presidente:** José Bretón Peña

> **secretario:** JOSÉ MARÍA GÓMEZ LLORENTE

> **vocal:** MONTSERRAT GUILLEUMAS MORELL

> **vocal:** FERNANDO SOLS LUCÍA

> **vocal:** JUAN MIGUEL GIL DE LA FE

Descriptores:

> FISICA ATOMICA

> MECANICA ESTADISTICA

> TEORIA CUANTICA

> ESTADOS DE LA MATERIA

El fichero de tesis ya ha sido incorporado al sistema

Localización: DEFECTOS TOPOLOGICOS EN CONDENSADOS DE BOSE-EINSTEIN DE GASES ATÓMICOS CONFINADOS EN TRAMPAS MAGNETO-ÓPTICAS

Resumen: Esta tesis, presentada en la modalidad de compendio de publicaciones, aborda el estudio teórico de estados caracterizados por la presencia de defectos topológicos, tales como vórtices o solitones, en condensados de Bose-Einstein de gases atómicos diluidos. Nuestro estudio se centra en el régimen de campo medio y analiza condensados confinados por potenciales magnéticos y ópticos con interacciones repulsivas entre partículas, poniendo especial énfasis en los sistemas de dimensionalidad reducida. En primer lugar, presentamos el estudio de la estabilidad de vórtices de carga múltiple en condensados alargados, analizando y explicando experimentos relevantes. Nuestros resultados numéricos, obtenidos mediante una modelización realista de la ecuación tridimensional de Gross-Pitaevskii, mostraron muy buen acuerdo cuantitativo con el experimento y demostraron que el decaimiento de vórtices de carga doble es principalmente una consecuencia de un proceso no disipativo producido por una inestabilidad de tipo dinámico.

En segundo lugar, para analizar condensados tridimensionales complejos, proponemos métodos analíticos que

conducen a fórmulas sencillas para las propiedades estáticas de los condensados confinados en potenciales armónicos. Estos métodos pueden ser aplicados tanto a sistemas de dimensionalidad reducida (condensados esféricos, alargados o achatados), como a condensados atrapados en potenciales armónicos de geometría arbitraria que pueden incluir un vórtice centrado de carga múltiple. Nuestra propuesta utiliza como referencia la aproximación de Thomas-Fermi habitual, la cual es modificada convenientemente con objeto de considerar, de una manera sencilla, la contribución de la energía de punto cero del sistema. De esta manera podemos determinar con suma facilidad, y una precisión típica del 1%, magnitudes como el potencial químico, la energía media, la energía de interacción, las longitudes y radios característicos o las densidades axial y radial, entre otras.

Estos métodos analíticos nos han permitido proponer ecuaciones efectivas de campo medio, unidimensionales y bidimensionales, que gobiernan la dinámica axial o radial, respectivamente, de condensados alargados o achatados con interacciones repulsivas, incluso en presencia de un vórtice axisimétrico de carga múltiple. Estas ecuaciones, que incorporan adecuadamente la contribución de los grados de libertad "rápidos" mediante un término no polinómico procedente del potencial

químico local, toman la forma correcta en los casos límite de la interacción (perturbativo y de Thomas-Fermi).

Además, hemos podido rederivar las ecuaciones efectivas unidimensionales anteriores utilizando un método variacional basado en el funcional del potencial químico local. Aunque en el caso general es el funcional de la energía quien siempre aporta el resultado correcto, demostramos que cuando la búsqueda de soluciones se restringe a un subespacio de funciones de prueba, un método variacional basado en la minimización del funcional para el potencial químico puede proporcionar mejores resultados que el método variacional estándar. Nuestras ecuaciones han demostrado un gran acuerdo cuantitativo con las observaciones experimentales, tal como han puesto de manifiesto otros autores, y en nuestros trabajos también las hemos aplicado con gran fiabilidad a la obtención y análisis de solitones de gap. En este campo la herramienta más utilizada ha sido la ecuación de Gross-Pitaevskii unidimensional estándar, incluso en la zona de transición entre el régimen cuasi-1D y el 3D. Sin embargo, demostramos que este modelo no es en general adecuado, debido a su pequeño rango de validez, mientras que nuestras ecuaciones efectivas unidimensionales son capaces de reproducir correctamente los resultados de la ecuación de Gross-Pitaevskii tridimensional en los regímenes de interés práctico. Nuestros resultados numéricos muestran que los solitones de gap fundamentales, sin estructura radial, son en general estables, incluso en los casos más tridimensionales, excepto en una pequeña región próxima al borde superior del gap. Por el contrario, los solitones múltiples, combinación de varios fundamentales, sólo son estables cuando los potenciales ópticos son suficientemente profundos.

Finalmente, analizamos con mayor profundidad los solitones de gap que surgen en presencia de una red óptica unidimensional en el régimen de débil confinamiento radial y mostramos por primera vez la diversa topología tridimensional que pueden presentar estos estados. En este régimen de atrapamiento, especialmente interesante por su correspondencia con condiciones experimentales realistas, analizamos los solitones de gap resolviendo numéricamente la ecuación de Gross-Pitaevskii 3D, y encontramos que pueden agruparse en diferentes familias que comparten características topológicas con las soluciones lineales asociadas a las bandas de energía del problema lineal subyacente. A pesar de que en estos sistemas no lineales se excitan múltiples modos transversos, demostramos que muchos de los solitones de gap hallados son especialmente robustos frente a perturbaciones, lo cual resulta de gran interés dado que abre la posibilidad de su generación experimental.

