

Nonlinear Acoustic Waves in Complex Media

Tribunal:

Enrique Riera (CSIC, España),
 Germán de Valcárcel (Universidad de Valencia),
 Georgios Theocharis (CNRS, Francia)

Resumen:

La Naturaleza es no lineal. La descripción lineal de los fenómenos físicos es de gran utilidad para explicar nuestras observaciones con modelos matemáticos simples, pero éstos sólo son precisos en un limitado rango de validez. En el caso de ondas acústicas de alta intensidad, los modelos lineales obvian un amplio rango de fenómenos físicos que son necesarios para describir con precisión las ondas de gran amplitud, pero además son necesarios para explicar otros procesos más exóticos e indispensables para desarrollar nuevas aplicaciones basadas en propagación no lineal. En esta Tesis, estudiamos las interacciones entre no linealidad y otros procesos complejos como atenuación no-clásica, dispersión anisotrópica y periodicidad, y difracción en configuraciones específicas.

En primer lugar, presentamos ondas de deformación en una cadena de cationes acoplados por potenciales realísticas. Aquí, las interacciones no lineales entre iones, producen la conformación de kinks supersónicos. Estas dislocaciones localizadas intrínsecamente no lineales viajan por la red largas distancias sin variar sus propiedades, y pueden explicar la formación de trazas en minerales como la mica. Aumentando la escala del problema, estudiamos los procesos acústicos no lineales en medios multicapa. La rica dinámica de estos medios está caracterizada por la fuerte dispersión debido a la periodicidad del sistema. Aquí,



Autor:
Noé Jiménez

Directores:
**Francisco Camarena,
 Javier Redondo**

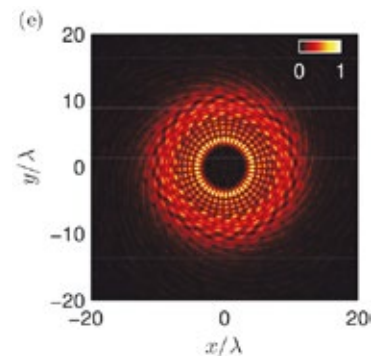
Exposición:
 29 de junio de 2015

Lugar:
 Escuela Politécnica Superior
 de Gandia, Universitat Politècnica
 de València

e-mail:
 nojigon@epsug.upv.es

estudiamos los procesos de generación de armónicos, mostrando como modificando la estructura podemos potenciar, minimizar, o simplemente modificar artificialmente la transferencia de energía entre las componentes espectrales, y de esta manera controlar la dinámica de las ondas y solitones en el interior de la estructura.

En la segunda parte, incluimos difracción y analizamos cuatro tipos de haces singulares. En primer lugar, analizamos haces ultrasónicos no lineales en cristales de sonido bidimensionales. En este sistema, las propiedades de anisotropía del medio son ajustadas para obtener la auto-colimación simultánea del primer y segundo armónico. Así, se obtiene la propagación no difractiva para las dos componentes. En segundo lugar, presentamos haces de



difracción limitada empleando rejillas de difracción axisimétricas. Por último, demostramos la generación de haces de Bessel de orden superior mediante estructuras en espiral.

En la última parte, estudiamos la competición entre no linealidad y la atenuación y dispersión observable en medios biológicos en el contexto de las aplicaciones de biomédicas de los ultrasonidos. En primer lugar desarrollamos un nuevo método computacional para la dependencia frecuencial en forma de ley de potencia de la absorción característica de los tejidos blandos. Este método en dominio temporal es usado posteriormente para revisar los procesos básicos no lineales prestando especial interés en el paper de la dispersión del tejido. Por último, la resolución de las ecuaciones constitutivas nos permite abordar la descripción no lineal de la fuerza de radiación acústica producida en tejidos biológicos, y las implicaciones existentes con la deposición de energía y transferencia de momento para ondas ultrasónicas de alta intensidad.

El amplio abanico de procesos no lineales analizados en esta tesis contribuye a una mejor comprensión de la dinámica de las ondas acústicas de alta intensidad en medios complejos, donde las implicaciones existentes en cuanto a la mejora de sus aplicaciones prácticas son puestas de manifiesto.

Abstract:

Nature is nonlinear. The linear description of physical phenomena is useful for explain observations with the simplest mathematical models, but they are only accurate for a limited range of input values. In the case of intense acoustics waves, linear models obviate a wide range of physical phenomena that are necessary for accurately describe such high-amplitude waves, indispensable for explain other exotic acoustic waves and mandatory for developing new applied techniques based on nonlinear processes. In this Thesis we study the interactions between nonlinearity and other basic wave phenomena such as non-classical attenuation, anisotropic dispersion and periodicity, and diffraction in specific configurations.

First, we present intense strain waves in a chain of cations coupled by realistic interatomic potentials. Here, the nonlinear ionic interactions and lattice dispersion lead to the formation of supersonic kinks. These intrinsically-nonlinear localized dislocations travel long distances without changing its properties and explain the formation of dark traces in mica crystals. Then, we analyze nonlinear wave processes in a system composed of multilayered acoustic media. The rich nonlinear dynamics of this system is characterized by its strong dispersion. Here, harmonic generation processes and the relation with its band structure are presented, showing that the nonlinear processes can be enhanced, strongly minimized or simply modified by tuning the layer parameters. In this way, we show how the dynamics of intense monochromatic waves and acoustic solitons can be controlled by artificial layered materials.

In a second part, we include diffraction and analyze four types of singular beams. First, we study nonlinear beams in two dimensional sonic crystals. In this system, the inclusion of anisotropic dispersion is tuned for obtain simultaneous self-collimation for fundamental and second harmonic beams. The conditions for optimal second harmonic generation are presented. Secondly, we present limited diffraction beam generation using equispaced axisymmetric diffraction gratings. The obtained beams are truncated version of zero-th order Bessel beams.

Third, the grating spacing can be modified to achieve focusing, where the generated nonlinear beams presents high gain, around 30 dB, with a focal width which is between the diffraction limit and the sub-wavelength regime, but with its characteristic high amplitude side lobes strongly reduced. Finally, we observe that waves diffracted by spiral-shaped gratings generate high-order Bessel beams, conforming nonlinear acoustic vortex. The conditions to obtain arbitrary-order Bessel beams by these passive elements are presented. Finally, the interplay of nonlinearity and attenuation in biological media is studied in the context of medical ultrasound. First, a numerical method is developed. The method solves the constitutive relations for nonlinear acoustics and the frequency power law attenuation of biological media is modeled as a sum of relaxation processes. A new technique for reducing numerical dispersion based on artificial relaxation is included. Second, this method is used to study the harmonic balance as a function of the power law, showing the role of weak dispersion and its impact on the efficiency of the harmonic generation in soft-tissues. Finally, the study concerns the nonlinear behavior of acoustic radiation forces in frequency power law attenuation media. We present how the interplay between nonlinearity and the specific frequency power law of biological media can modify the value for acoustic radiation forces. The relation of the nonlinear acoustic radiation force with thermal effects are also discussed.

The broad range of nonlinear processes analyzed in this Thesis contributes to understanding the behavior of intense acoustic waves traveling through complex media, while its implications for enhancing existent applied acoustics techniques are presented.