

Unveiling the invisible: Advances in phonon-based dark matter detection



Cosmos image by dutonick0 (Pixabay)

ICMAB researchers, with expertise in quantum simulations and superconductor sensors, have collaborated with a leading specialist in dark matter physics to unveil a pioneering study on phonon dynamics for dark matter detection, published in *Physical Review D*.

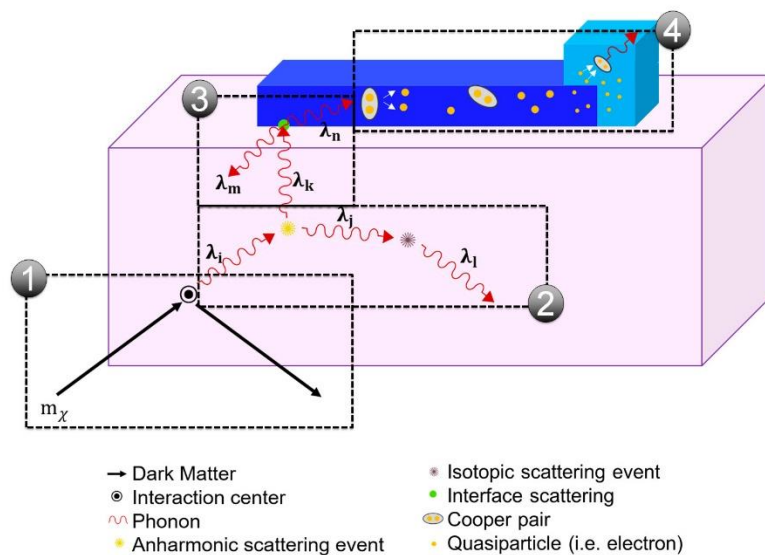
A new study led by ICMAB researchers Riccardo Rurali and Lourdes Fàbrega with the participation of Martí Raya-Moreno (postdoctoral researcher at ICMAB) and in collaboration with Bradley Kavanagh (IFCA-Institute of Physics of Cantabria, CSIC-University of Cantabria), introduces a novel theoretical analysis of phonon dynamics in the quest to detect dark matter particles.

Their work, supported by the Severo Ochoa ICMAB Frontier Interdisciplinary Project (FIP) PD4DM: Phonon dynamics as ruling factor for detecting ultralight dark matter with quantum sensors (2021 call), was recently published in *Physical Review D*.

Phonon-Based Detection: A New Frontier

The research highlights a novel approach to detect sub-GeV dark matter particles (with masses below 1 giga-electronvolt), a promising direction after decades of unsuccessful searches for heavier dark matter particles. The detection scheme involves phonon excitation within a semiconductor target caused by a dark matter particle. These phonons—a type of lattice vibration—are transmitted to a superconductor sensor operating at extremely low temperatures, enabling detection.

By leveraging state-of-the-art fully quantum simulations, the study demonstrates the feasibility of this detection mechanism and provides essential design rules for future experiments.



Scheme of a phonon-based dark matter detector: A dark matter particle generates phonons in the semiconductor target, which travel to the backsurface and are transmitted to a superconducting thin film. Detection occurs via a Transition-Edge Sensor (TES).

Interdisciplinary Collaboration

“This is a highly interdisciplinary work,” explains Lourdes Fàbrega. “Not only because of the collaboration between ICMAB researchers Riccardo Rurali and myself from different research groups, but also because a cosmologist expert in dark matter was involved in the project.

Why Does This Matter?

Dark matter remains one of the most elusive challenges in modern astrophysics. Although its existence is strongly supported by indirect evidence, such as galaxy rotation curves and cosmic microwave background fluctuations, it has yet to be detected directly.

“This study marks the first analysis of phonon dynamics for dark matter detection using state-of-the-art quantum simulations,” affirms Riccardo Rurali. By addressing key questions about the energy transmission and sensor performance, it paves the way for future experimental developments in cryogenic detectors.

Implications for the Field

If dark matter particles possess sub-GeV masses looks promising. The results are expected to stimulate a significant experimental push in developing cryogenic thermal detectors capable of single phonon detection.

This study exemplifies the strength of interdisciplinary research and its potential to tackle some of the most pressing questions in modern science.

Publication and Reference

The work, titled “**Phonon dynamics for light dark matter detection**,” was authored by Martí Raya-Moreno, Bradley J. Kavanagh, Lourdes Fàbrega, and Riccardo Rurali. It is published in *Physical Review D* (Vol. 110, Article 112007, 2024).

Link to the article: <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.110.112007>

Desxifrant l'invisible: avenços en la detecció de matèria fosca basada en fonons



Imatge del cosmos per dutonick0 (Pixabay)

Investigadors de l'ICMAB, amb experiència en simulacions quàntiques i sensors superconductors, han col·laborat amb un especialista líder en física de la matèria fosca per treballar en un estudi pioner sobre la dinàmica dels fonons per a la detecció de la matèria fosca, publicat a *Physical Review D*.

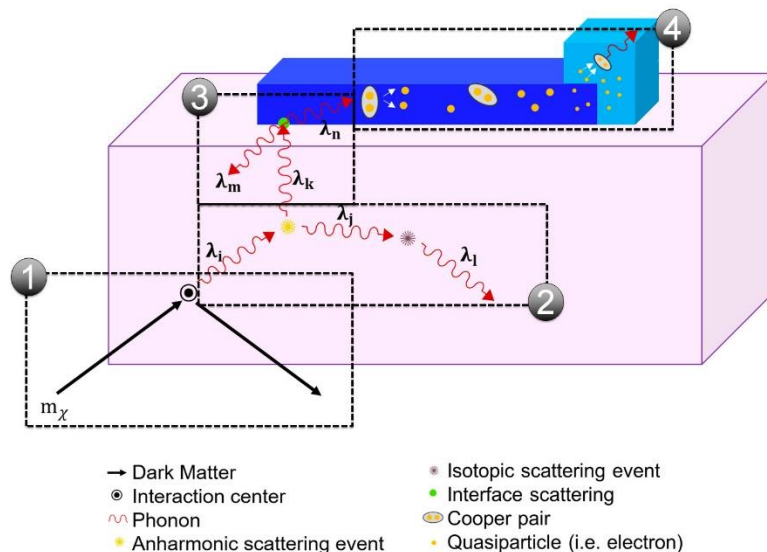
Un nou estudi liderat pels investigadors de l'ICMAB Riccardo Rurali i Lourdes Fàbrega, amb la participació de Martí Raya-Moreno (investigador postdoctoral a l'ICMAB) i en col·laboració amb Bradley Kavanagh (IFCA-Institut de Física de Cantàbria, CSIC-Universitat de Cantàbria), introdueix una nova anàlisi teòrica de la dinàmica dels fonons en la recerca per detectar partícules de matèria fosca. El seu treball, recolzat pel Projecte Interdisciplinari de Frontera Severo Ochoa ICMAB (FIP) *PD4DM: Phonon dynamics as ruling factor for detecting ultralight dark matter with quantum sensors* (convocatòria 2021), ha estat publicat recentment a *Physical Review D*.

Detecció basada en fonons: una nova frontera

La recerca destaca un nou enfocament per detectar partícules de matèria fosca sub-GeV (amb masses inferiors a 1 giga-electronvolt), una direcció prometedora després de dècades de recerca infructuosa per detectar partícules de matèria fosca més pesants. El mètode de detecció implica l'excitació de fonons dins d'un objectiu semiconductor causada per una partícula de matèria fosca.

Aquests fonons —un tipus de vibració del reticle cristal·lí— es transmeten a un sensor superconductor que opera a temperatures extremadament baixes, permetent-ne la detecció.

Mitjançant simulacions completament quàntiques d'última generació, l'estudi demostra la viabilitat d'aquest mecanisme de detecció i proporciona regles essencials per al disseny de futurs experiments.



Esquema d'un detector de matèria fosca basat en fonons: una partícula de matèria fosca genera fonons al material semiconductor objectiu, que es desplacen fins a la superfície posterior i es transmeten a una pel·lícula prima superconductora. La detecció es realitza mitjançant un sensor de vora de transició (TES).

Col·laboració interdisciplinària

“Aquest és un treball altament interdisciplinari,” explica Lourdes Fàbrega. “No només per la col·laboració entre els investigadors de l'ICMAB Riccardo Rurali i jo mateixa, provinents de diferents grups de recerca, sinó també per la participació d'un cosmòleg expert en matèria fosca en el projecte.”

Per què és important?

La matèria fosca continua sent un dels reptes més esquius de l'astrofísica moderna. Tot i que la seva existència està fortament recolzada per evidències indirectes, com ara les corbes de rotació galàctica i les fluctuacions del fons còsmic de microones, encara no s'ha detectat directament.

“Aquest estudi representa la primera anàlisi de la dinàmica dels fonons per a la detecció de matèria fosca utilitzant simulacions quàntiques d'avantguarda,” afirma Riccardo Rurali. Amb la resolució de qüestions clau sobre la transmissió d'energia i el rendiment del sensor, obre el camí per al desenvolupament futur de detectors criogènics.



Publicació i referència

El treball, titulat “*Phonon dynamics for light dark matter detection*”, amb autors Martí Raya-Moreno, Bradley J. Kavanagh, Lourdes Fàbrega i Riccardo Rurali s’ha publicat a *Physical Review D* (Vol. 110, Article 112007, 2024).

Enllaç a l'article: <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.110.112007>

Descifrando lo invisible: avances en la detección de materia oscura basada en fonones



Imagen del cosmos por dutonick0 (Pixabay)

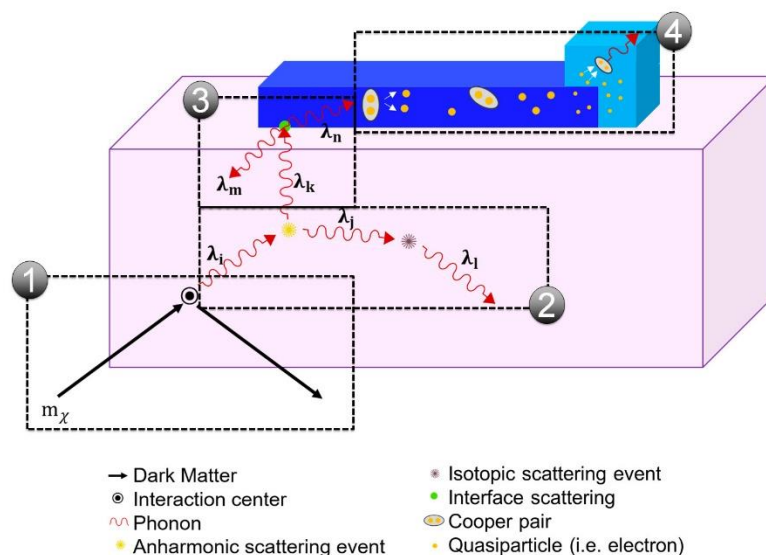
Investigadores del ICMAB, con experiencia en simulaciones cuánticas y sensores superconductores, han colaborado con un especialista líder en física de materia oscura para trabajar en un estudio pionero sobre la dinámica de los fonones para la detección de materia oscura, publicado en *Physical Review D*.

Un nuevo estudio liderado por los investigadores del ICMAB Riccardo Rurali y Lourdes Fàbrega, con la participación de Martí Raya-Moreno (investigador postdoctoral en el ICMAB) y en colaboración con Bradley Kavanagh (IFCA-Instituto de Física de Cantabria, CSIC-Universidad de Cantabria), introduce un novedoso análisis teórico de la dinámica de los fonones en la búsqueda para detectar partículas de materia oscura. Su trabajo, respaldado por el Proyecto Interdisciplinar de Frontera Severo Ochoa del ICMAB (FIP) *PD4DM: Phonon dynamics as ruling factor for detecting ultralight dark matter with quantum sensors* (convocatoria 2021), ha sido publicado recientemente en *Physical Review D*.

Detección basada en fonones: una nueva frontera

La investigación destaca un novedoso enfoque para detectar partículas de materia oscura sub-GeV (con masas inferiores a 1 giga-electronvolt), una dirección prometedora tras décadas de búsqueda infructuosa de partículas de materia oscura más pesadas. El método de detección implica la excitación de fonones dentro de un objetivo semiconductor causada por una partícula de materia oscura. Estos fonones — un tipo de vibración de la red cristalina — se transmiten a un sensor superconductor que opera a temperaturas extremadamente bajas, permitiendo su detección.

Mediante simulaciones totalmente cuánticas de última generación, el estudio demuestra la viabilidad de este mecanismo de detección y proporciona reglas esenciales para el diseño de futuros experimentos.



Esquema de un detector de materia oscura basado en fonones: una partícula de materia oscura genera fonones en el material semiconductor objetivo, que se desplazan hasta la superficie posterior y se transmiten a una película delgada superconductora. La detección se realiza mediante un sensor de borde de transición (TES).

Colaboración interdisciplinar

“Este es un trabajo altamente interdisciplinar,” explica Lourdes Fàbrega. “No solo por la colaboración entre los investigadores del ICMAB Riccardo Rurali y yo misma, provenientes de diferentes grupos de investigación, sino también por la participación de un cosmólogo experto en materia oscura en el proyecto.”

¿Por qué es importante?

La materia oscura sigue siendo uno de los desafíos más esquivos de la astrofísica moderna. Aunque su existencia está fuertemente respaldada por evidencias indirectas, como las curvas de rotación galáctica y las fluctuaciones del fondo cósmico de microondas, aún no se ha detectado directamente.



“Este estudio marca el primer análisis de la dinámica de los fonones para la detección de materia oscura utilizando simulaciones cuánticas avanzadas,” afirma Riccardo Rurali. Abordando cuestiones clave sobre la transmisión de energía y el rendimiento del sensor, allana el camino para futuros desarrollos experimentales en detectores criogénicos.

Publicación y referencia

El trabajo, titulado “*Phonon dynamics for light dark matter detection*”, con autores Martí Raya-Moreno, Bradley J. Kavanagh, Lourdes Fàbrega y Riccardo Rurali se ha publicado en *Physical Review D* (Vol. 110, Artículo 112007, 2024).

Enlace al artículo: <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.110.112007>