



# Tecnologías Cuánticas en el CAPA

## BÚSQUEDA DE MATERIA OSCURA

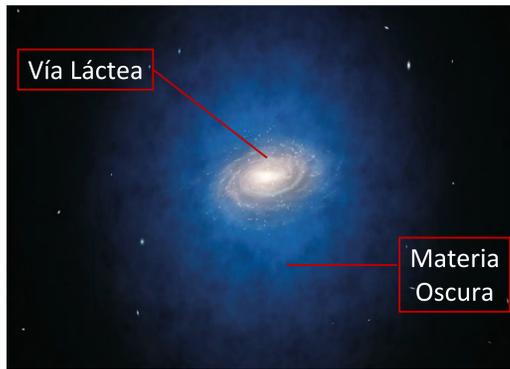
En el CAPA (Centro de Astropartículas y Física de Altas Energías) exploramos nuevas líneas de investigación que conectan la física de partículas con las tecnologías cuánticas más punteras.

En particular, aplicamos estas tecnologías cuánticas al estudio de uno de los grandes enigmas de la física: la materia oscura.

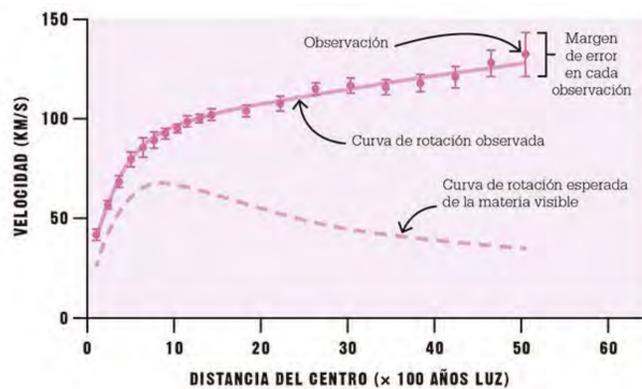
Sensores basados en qubits permiten detectar señales extremadamente débiles, abriendo nuevas vías para explorar el universo invisible.

### ¿Qué es la materia oscura?

La naturaleza de la **materia oscura** es uno de los problemas abiertos más importantes de la física moderna. Aunque no podemos verla ni tocarla, la materia oscura representa aproximadamente el **85% de la materia del universo**. No absorbe, emite ni refleja luz, lo que la hace **invisible (oscura)** para nuestros instrumentos convencionales.



Su existencia se infiere por los **efectos gravitacionales** que ejerce sobre la materia visible. Por ejemplo, **las estrellas en las galaxias giran a velocidades que no se pueden explicar solo por la materia visible**: debe haber una masa adicional invisible que las mantiene unidas.



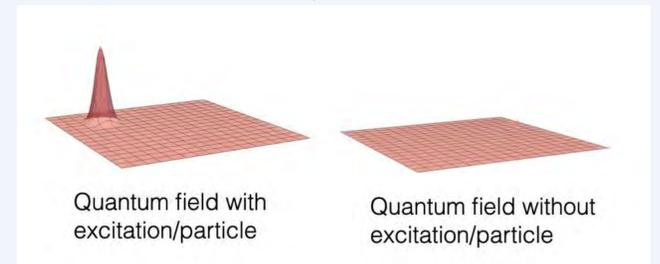
### Axiones y campos cuánticos

Los **axiones** son partículas hipotéticas que podrían resolver uno de los grandes enigmas de la física: por qué el universo no viola una simetría conocida como CP en las interacciones fuertes.

Se cree que tienen una **masa muy pequeña** y que apenas interactúan con la materia normal  $\Rightarrow$  **candidatos ideales** para formar parte de la materia oscura.



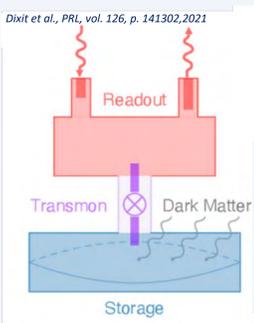
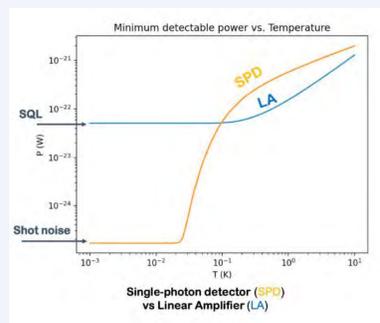
En la **física cuántica moderna**, las partículas no son objetos aislados, sino pequeñas ondas de campos invisibles que permean todo el espacio. Las **partículas son excitaciones de estos campos**. Por ejemplo, el electrón es una excitación del campo electrónico. De manera similar, si los axiones existen, serían excitaciones de un campo axiónico.



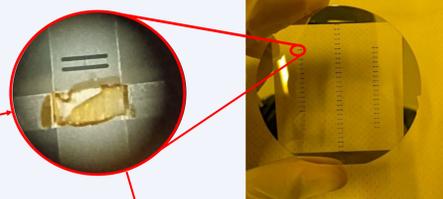
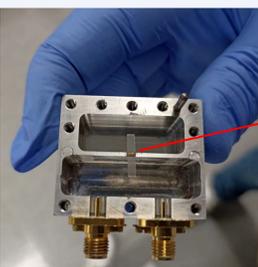
### Tecnología cuántica para detectar lo invisible

Las tecnologías cuánticas permiten detectar señales increíblemente débiles, como las que podrían generar los axiones.

Los experimentos tradicionales usan amplificadores lineales, que están limitados por el llamado límite cuántico estándar (SQL), impuesto **por el principio de incertidumbre**: al amplificar, inevitablemente se introduce ruido.

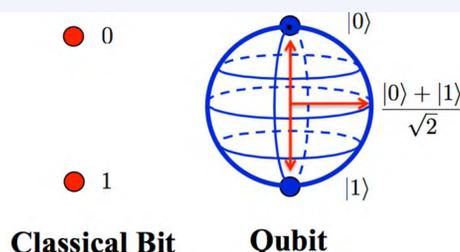


En el proyecto Dark Quantum se emplean **qubits superconductores** acoplados a **cavidades resonantes**. Así, actúan como **contadores de fotones individuales** mediante medidas cuánticas no destructivas para detectar fotones de microondas (frecuencias en GHz), algo que no es posible con la electrónica clásica.

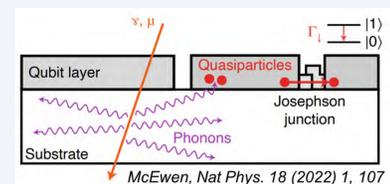


Esta tecnología es posible gracias a los avances recientes en sistemas de comunicación (como el 5G) y a los desarrollos en computación cuántica que han permitido fabricar y controlar qubits artificiales, como los **transmones**.

Un qubit no solo vale 0 ó 1: puede estar en ambos estados a la vez, gracias a la **superposición cuántica**. Esta propiedad, junto con la posibilidad de medir sin destruir el fotón, permite alcanzar sensibilidades sin precedentes.



### Radiación y errores cuánticos: hacia Canfranc

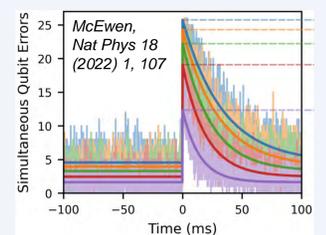


La **radiación ionizante** que incide sobre el sustrato genera fonones (vibraciones de la red atómica) que se propagan por todo el chip. En estructuras superconductoras, pueden romper pares de Cooper, generando cuasipartículas que atraviesan la unión Josephson por efecto túnel y provocan la transición del qubit del estado excitado  $|1\rangle$  al fundamental  $|0\rangle$ .



La Tierra está bañada por **radiación cósmica**: partículas muy energéticas que en la atmósfera generan un chaparrón de otras partículas, en particular **muones**.

Un **muon cósmico** puede causar **errores simultáneamente en muchos qubits**, que se recuperan en tiempos del orden de decenas de ms.



En los **laboratorios subterráneos** como el LSC de Canfranc, el flujo de muones se reduce muchos órdenes de magnitud  $\Rightarrow$  **¡pueden ser la solución!**



¿Quieres saber más?  
Visita la página web del CAPA



Centro de Astropartículas y Física de Altas Energías  
Universidad Zaragoza



Universidad Zaragoza