

## De camí cap a la miniaturització dels sensors atòmics: un nou mètode de lectura

Investigadors de l'ICFO proposen un nou mètode de lectura per a sensors atòmics. El descobriment és un pas important cap a la miniaturització de sensors com els magnetòmetres atòmics; un avenç llargament buscat que incrementarà la seva resolució espacial, entre altres millores substancials.

June 13, 2024

---

Alguns dispositius tecnològics per a la detecció d'alta precisió es basen en el bombeig òptic (és a dir, el procés en què s'utilitza la llum per elevar -o "bombejar"- electrons des d'un nivell d'energia inferior en un àtom o molècula a un de superior) i la física d'espins en un vapor atòmic (és a dir, la física associada amb l'evolució i les interaccions d'una propietat magnètica intrínseca dels àtoms, anomenada [espin](#)). Per exemple, els magnetòmetres bombejats òpticament, un dels dispositius quàntics més sensibles a l'hora de detectar camps magnètics molt febles, es basen en aquests dos principis.

Hi ha un element important que influeix en el grau de sensibilitat i que, per tant, pot comprometre el rendiment d'aquests instruments: la lectura de la polarització dels espins electrònics (una propietat relacionada amb com s'orienten aquests espins). Actualment hi ha mètodes d'última generació que milloren l'efectivitat de la lectura, però el seu rendiment empitjora a mesura que es redueixen les dimensions dels sensors, frenant la miniaturització que la major part de les tecnologies modernes persegueixen.

La qüestió ha estat abordada recentment pels investigadors de l'ICFO **Maria Hernandez**, **Yintao Ma** (també membre de la Universitat Xi'an Jiaotong), **Hana Medhat**, la **Dra. Chiara Mazzinghi** (també membre de l'Institut Nazionale di Ottica, Sesto Fiorentino) i el **Dr. Vito Giovanni Lucivero** (també membre de la Universitat degli Studi di Bari Aldo Moro), dirigits pel **Professor ICREA de l'ICFO Morgan W. Mitchell**. En un article de *Physical Review Applied*, han demostrat un **nou mètode no destructiu per monitoritzar la polarització de l'espin electrònic d'un conjunt atòmic i que, a la vegada, permet la miniaturització de l'equip**.

### **Una nova tècnica per a monitoritzar la polarització d'espins**

A l'estudi, els autors van utilitzar tres components diferents (cadascun ben establert per si mateix) i els van ajuntar, cosa que ningú havia fet abans.

El primer ingredient va ser l'ús d'un vapor atòmic i l'explotació de les seves propietats òptiques. En particular, van utilitzar rubí 87, una elecció molt habitual quan es tracta de sensors, degut a la seva sensibilitat natural als canvis externs del seu entorn.

El segon va ser l'ús d'un ressonador òptic. Aquests elements òptics, també coneguts com a  $\frac{1}{2}$ cavitats òptiques  $\frac{1}{2}$ , milloren la lectura dels espins en augmentar la longitud d'interacció entre els àtoms de rubí i la llum infraroja, la qual s'utilitza per sondejar-los. A més, el vapor es va col·locar dins d'una cel·la de vapor anomenada sistema microelectromecànic MEMS, per les sigles en anglès), ja que aquest tipus de cel·la permet la miniaturització de sensors sense que això en perjudiqui la qualitat.

I en tercer lloc l'equip va fer la lectura mitjançant la tècnica de Pound-Drever-Hall (PDH). El mètode PDH s'utilitza àmpliament per mesurar canvis en la freqüència o fase de la llum laser amb una precisió infinitesimal (per exemple, en la detecció d'ones gravitacionals). En aquest cas, enviant llum al medi i mesurant el canvi de fase a través de PDH, els investigadors van poder inferir indirectament la polarització de l'espin atòmic (ja que la primera dependència de la sensibilitat és

gonal). En resum, l'equip va fer una lectura PDH de la polarització de l'espin atòmic d'un vapor de rubí 87 col·locat en una cel·la MEMS dins un ressonador òptic. **Els resultats suggereixen una lectura millorada (i per tant una millor sensibilitat) fins i tot en cel·lules petites, un progrés per partida doble respecte a intents anteriors.**

### **Beneficis per als futurs sensors atòmics**

Els investigadors afirmen que el mètode té potencial per a proporcionar lectures d'alta

eficiencia en instruments miniaturitzats de metrologia i de detecció en vapors atòmics. Aquest és un resultat important ja que aplanar el camí cap a la miniaturització de dispositius de detecció atòmica que permetin una alta resolució espacial en la detecció de camps magnètics. A més, en principi, el mètode pot estar limitat per soroll quàntic, cosa que permetrà augmentar la precisió en sensors miniaturitzats gràcies a les seves propietats quàntiques. Comparteix Maria Hernandez, autora principal de l'article. Hernandez ja ha començat a construir un magnetòmetre òptic basat en aquesta tècnica per a aplicacions microbiomagnètiques. La miniaturització dels magnetòmetres atòmics podria donar com a resultat sensors amb resolució espacial millorada i que també podrien ser adequats per a espins espremuts, una fita que l'equip està desitjant aconseguir.

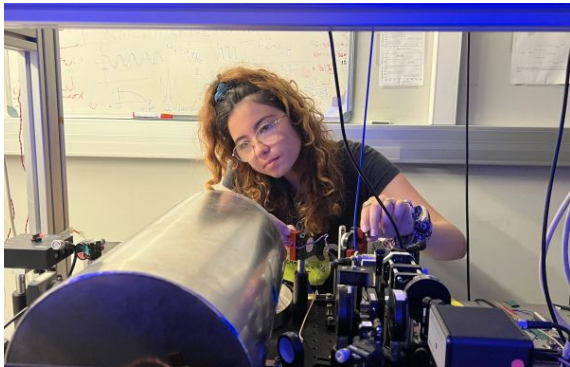
**Referencia bibliogràfica:**

Hernandez, Y. Ma, H. Medhat, C. Mazzinghi, V. Giovanni, and M. W. Mitchell. Cavity-enhanced detection of spin polarization in a microfabricated atomic vapor cell. *Phys. Rev. Applied* 21, 064014 (2024).

**Agraïments:**

This work was supported by European Commission projects MACQSIMAL (820393), OPMMEG (101099379), and QUANTIFY (101135931); NextGenerationEU (PRTR-C17.I1- Plan Complementario de Comunicaciones Cuánticas); Spanish Ministry of Science (MCIN) project SAPONARIA (PID2021-123813NB-I00); Severo Ochoa Center of Excellence CEX2019-000910-S, Departament de Recerca i Universitats de la Generalitat de Catalunya Grant No. 2021 SGR 01453; Fundació Privada Cellex; and Fundació Mir-Puig. M.R. acknowledges support from Ayuda PRE2021-098880 financiada per MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por el FSE+. V.G.L. acknowledges financial support from European Union NextGenerationEU (PNRR MUR project PE0000023 - NQSTI) and from the Italian Ministry of University and Research (MUR) project Budget MIUR - Dipartimenti di Eccellenza 023 - 2027 (Law 232, 11 December 2016) - Quantum Sensing and Modelling for On-Health (QuaSiModO). H.M. acknowledges financial support from the European Union's Horizon Europe research and innovation programme under the Marie Skłodowska-Curie Grant Agreement No. 101081441. Y.M. acknowledges the support from China Scholarship Council (202206280171).

El projecte es realitza dins del marc de l'Acord de Govern Quàntica - Vall de la Mediterrània de les Ciències i les Tecnologies Quàntiques GOV/51/2022, impulsat per la Secretaria de Polítiques Digitals de la Generalitat de Catalunya.



Maria Fernandez manipulating the setup