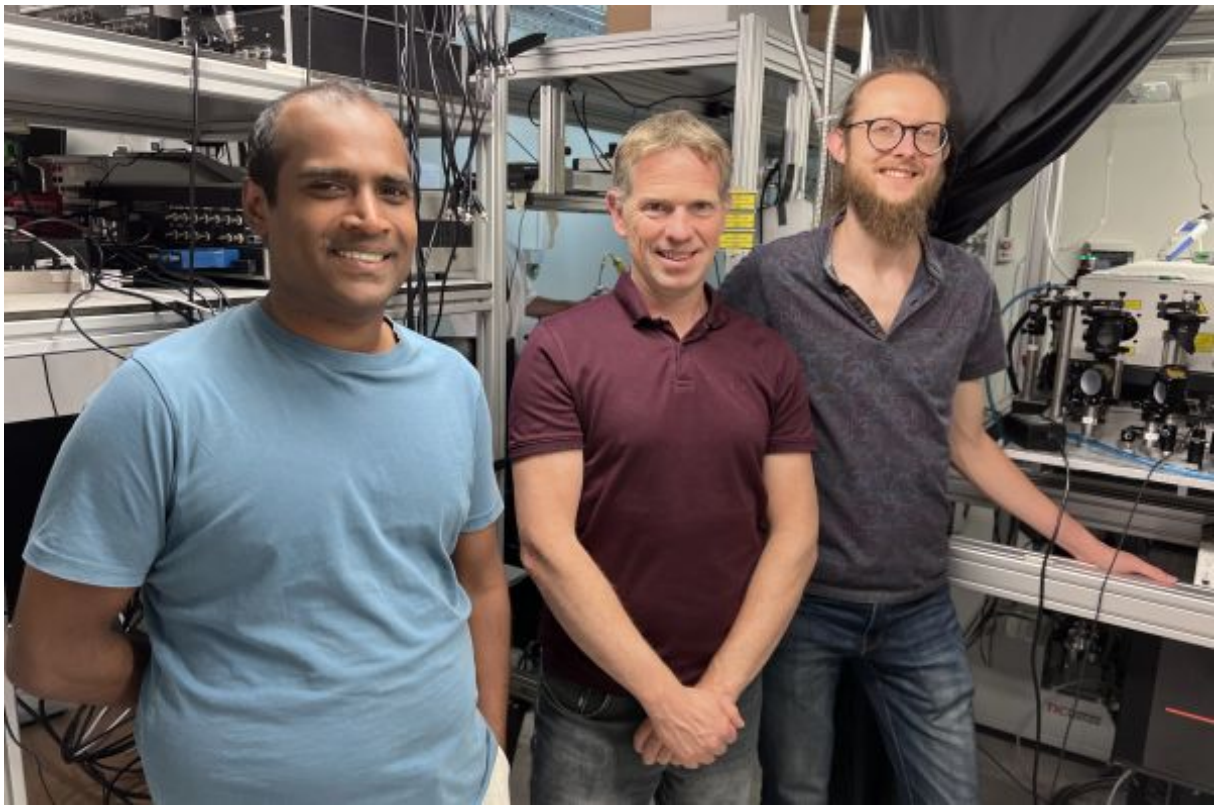


Investigadors de l'ICFO superen un obstacle en la deteccio de fotons individuals amb materials 2D girats

En el seu estudi sobre materials bidimensionals estratificats, els investigadors de l'ICFO han aconseguit observar una anomalia, una transicio inesperada a l'estat del sistema que ha estat provocat per llum. Aquesta anomalia ha sigut el resultat d'una sensibilitat a nivell de foto individual amb propietats extraordinaries que no havien estat accessibles abans: la capacitat de detectar fotons de longitud d'ona llarga (fins a l'infraroig mitja) a temperatures relativament altes.
Els resultats d'aquestes propietats tan buscades, publicades a Science, obren la porta a una amplia gamma d'aplicacions, des de la bioimatge, l'astronomia observacional fins a les tecnologies quantiques.

August 07, 2025

La capacitat de detectar fotons individuals (es a dir, els paquets d'energia mes petits que constitueixen la radiacio electromagnetica) en el rang infraroig ha sigut de fa anys una necessitat urgent en nombrosos camps, des de la presa d'imatge medica i l'astrofisica, fins a les tecnologies quantiques emergents. En astronomia observacional, per exemple, la llum d'objectes celests distants pot ser extremadament tenue i requereix tenir instruments amb una sensibilitat excepcional a l'infraroig mitja. De la mateixa manera, en la comunicacio quantica a l'espai lliure -on els fotons individuals han de viatjar a traves de grans distancies- operar a l'infraroig mitja pot proporcionar avantatges clau en la claredat del senyal.
L'us generalitzat de detectors de fotons individuals en aquest rang es veu realment limitat per la necessitat de sistemes criogenics grans, costosos i d'alt consum energetic per mantenir la temperatura dels dispositius per sota 1 grau Kelvin. Aixo dificulta la integracio dels detectors resultants als circuits fotonics moderns, la columna vertebral de les tecnologies de la informacio actuals.
Un equip internacional d'investigadors, liderat per l'ICFO, ha demostrat una manera de superar aquesta limitacio. Han utilitzat materials bidimensionals (amb un gruix de nomes un atom) per detectar fotons individuals de longitud d'ona llarga (fins a l'infraroig mitja) a temperatures relativament altes (al voltant de 25 graus Kelvin).
Aquesta fita ha despertat l'interes de l'Agencia Espacial Europea (ESA), que esta en cerca d'aquest tipus de detectors per a l'exploracio espacial. Els investigadors de l'ICFO, el **Dr. Krystian Nowakowski, Dr. Hitesh Agarwal, Dr. Julien Barrier, Dr. David Barcons Ruiz, Dr. Geng Li, Riccardo Bertini, Matteo Ceccanti, Dr. Iacopo Torre, Dr. Antoine Reserbat-Plantey**, dirigits pel **Dr. Roshan Krishna Kumar** i el **Prof. ICREA del ICFO Frank Koppens**, en col·laboracio am el**Prof. Pablo Jarillo-Herrero**, investigador i professor de l'Institut Tecnologic de Massachusetts (MIT) i professor convidat distingit de l'ICFO, aixi com investigadors de la Universitat de Manchester, la Universitat d'Anvers, entre d'altres, han informat avui dels seus resultats a la revista Science.

Biestabilitat: un nou mecanisme per a la deteccio de fotons individuals
"Al nostre grup, combinem diferents materials 2D. Els apilem, els girem i observem que passa. I, de vegades, sorgeixen sorpreses", comenta Frank Koppens, Prof. ICREA de l'ICFO, autor senior de l'estudi i expert en materials 2D des de fa molts anys.
Una lleugera torsio entre les capes d'aquests materials 2D indueix un patro d'interferencia conegut com a patro moire, que modifica les propietats dels electrons al material. S'han observat diverses propietats exotiques en aquestes xarxes moire, com ara la superconductivitat o el magnetisme orbital. En aquest treball, l'ICFO, juntament amb l'equip internacional, ha afegit una altra propietat exotica a la llista: un fenomen conegut com a **biestabilitat**. La biestabilitat permet que un sistema es mantingui en dos estats diferents sota les mateixes condicions externes, com un interruptor de llum que pot romandre estable tant

a la posicio d'ences com a la d'apagat.
L'equip ha demostrat que la biestabilitat pot servir com un nou mecanisme per a la deteccio de fotons individuals, una d'aquelles sorpreses que descriu Koppens. "Vam observar que el material no es comportava com esperavem", recorda. "Aixi que vam pensar: 'Il·luminem-h una mica i veiem que passa'. Va ser llavors quan, de sobte, vam observar una sensibilita extrema a la il·luminacio". I com mes aprofundien, mes clar es feia que el material responia a fotons individual
. Pel que fa als resultats obtinguts a l'experiment, el professor Jarillo-Herrero destaca: "Aque t experiment demostra el gran potencial dels dispositius quantics de moire, no nomes n termes de ciencia fonamental, sino tambe per a noves aplicacions en tecnologi s quantiques

Fotons individuals: la gota que va fer vessar el got

El detector en si es estructuralment simple. Consisteix en una bicapa de grafe (una capa d'atoms de carboni d'un atom de gruix, que presenta propietats fisiques rellevants) intercalada entre capes de nitrur de bor hexagonal (hBN), un altre material bidimensional que actua com a escut protector. Tot i que soni simple el i¿½construir el dispositiu va s r complicati¿½, explica el Dr. Hitesh Agarwal, primer coautor de l'estudi, principalment pe que aconseguir l'alineacio precisa entre el grafe bicapa i l'hBN nomes va tenir una taxa d'exit del 50%. "Al final, aconseguim resoldre'l gracies a un disseny acurat ia les llicons aprese en experiments anteriors", afeg
ix. Aleshores, com detecta aquest dispositiu fotons individuals? Intuitivament, la resposta es pot comprendre amb una metafora. Imaginem una enorme caixa buida sobre una taula i p sem un grapat de grans d'arros (o gotes d'aigua) a dins. No passa res. Pero que passa si se uim afegint mes i mes arros? Amb el temps, el pes es tornara excessiu i la taula s'esfondr ra. Al laboratori, els investigadors van dissenyar un sistema a la vora del col·lapse. "En ll c de grans d'arros, tenim corrent electric fluint", afirma el Dr. Krystian Nowakowski, primer co utor de l'article. "I quan s'arriba al punt critic, el dispositiu no es trenca, sino que c nvia sobtadament d'un estat estable a un altre. Quan s'absorbeix un sol foto, es com el gra d' rros o la gota que fa vessar el got: desencadena la transicio, i aixo es el que detec em". Pero com exactament un sol foto inclina el sistema? "Es una cosa que a tots ens encan aria saber", admet el Dr. Nowakowski. "Tenim algunes hipotesis per ara, pero necessitem fe mes experiments per poder discernir entre elles". Ara com ara, haurem de conviure a b el mis
eri. El que si que es clar es que aquest mecanisme difereix fonamentalment dels proc ssos convencionals basats en superconductors o semiconductors. Va ser precisament a uest mecanisme subjacent el que va permetre al dispositiu detectar fotons de longitud 'ona llarga (fins a l'infraroig mitja) a temperatures relativament altes (al voltant de 25 graus Kel in). "El singular mecanisme fisic que sustenta l'arquitectura del nostre detector ens p rmet superar les limitacions fonamentals que frenaven l'avenc de les tecnologies anteri

rs", comparteix el Dr. Krishna Kumar, co-supervisor del tre
all. L'equip esta centrat ara a compactar el sistema i augmentar encara mes la temperatu
a de funcionament, ja que aquest es el factor decisiu per a l'us d'un detector determinat.
ot i aixo, molts altres factors influeixen a l'hora de determinar si una tecnologia determina
a es tornara practica. Potser aquest nou metode per detectar fotons individuals no es uti
 per estudiar galaxies distants, molecules medicament rellevants o portadors d'infor
acio quantica, o potser es converteix en un punt d'infl

Acknowledgements:
PJH acknowledges support by AFOSR grant FA9550-21-1-0319, the Gordon and Betty Moore Foundation's EPiQS Initiative through Grant GBMF9463, the Ramon Areces Foundation, and the ICFO Distinguished Visiting Professor program. F.H.L.K. acknowledges support from the ERC TOPONANOP (726001), the government of Spain (PID2019-106875GB-I00; Severo Ochoa CEX2019-000910-S [MCIN/ AEI/10.13039/501100011033], PCI2021-122020-2A funded by MCIN/AEI/ 10.13039/501100011033), the "European Union NextGenerationEU/PRTR (PRTR-C17.I1), Fundacio Cellex, Fundacio Mir-Puig, and Generalitat de Catalunya (CERCA, AGAUR, 2021 SGR 01443). Furthermore, the research leading to these results has received funding from the European Union's Horizon 2020 under grant agreement no. 881603 (Graphene flagship Core3) and 820378 (Quantum flagship). This material is based upon work supported by the Air Force Office of Scientific Research under award number FA8655-23-1-7047. Any opinions, findings, and conclusions or recommendations expressed in this material are those of the author(s) and do not necessarily reflect the views of the United States Air Force. J.B. acknowledges support from the European Union's Horizon Europe program under grant agreement 101105218. R.S., B.J., M.V.M. and L.C. acknowledge support from Research Foundation-Flanders (FWO) research projects G0A5921N and 11E5821N. H.A., K.N. and R.B. acknowledge funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under Marie Sk?odowska-Curie grant agreement no. 665884, 713729 and 847517, respectively. V.F. and S.S acknowledge support from EPSRC Grants EP/S019367/1, EP/P026850/1, and EP/N010345/1; British Council project 1185409051. D.B.R. acknowledges funding from the Secretaria d'Universitats i Recerca del Departament d'Empresa i Coneixement de la Generalitat de Catalunya, as well as the European Social Fund (L'FSE inverteix en el teu futur)-FEDER. R. K. K acknowledges funding by MCIN/AEI/ 10.13039/501100011033 and by the i¿½European Union NextGenerationEU/PRT
" PCI2021-122020-2A within the FLAG-ERA grant [PhotoTBG], by ICFO, RWTH Aachen a
d ETHZ/Department of Physics, and support from the Ramon y Cajal Grant RYC2022-036118
I funded by MICIU/AEI/10.13039/501100011033 and by i¿½ESF+i¿½. R.B. ackn
wledges funding from the European Union's Horizon H2020 under the Marie Sklodowska-Cur
e grant agreements No 847517.