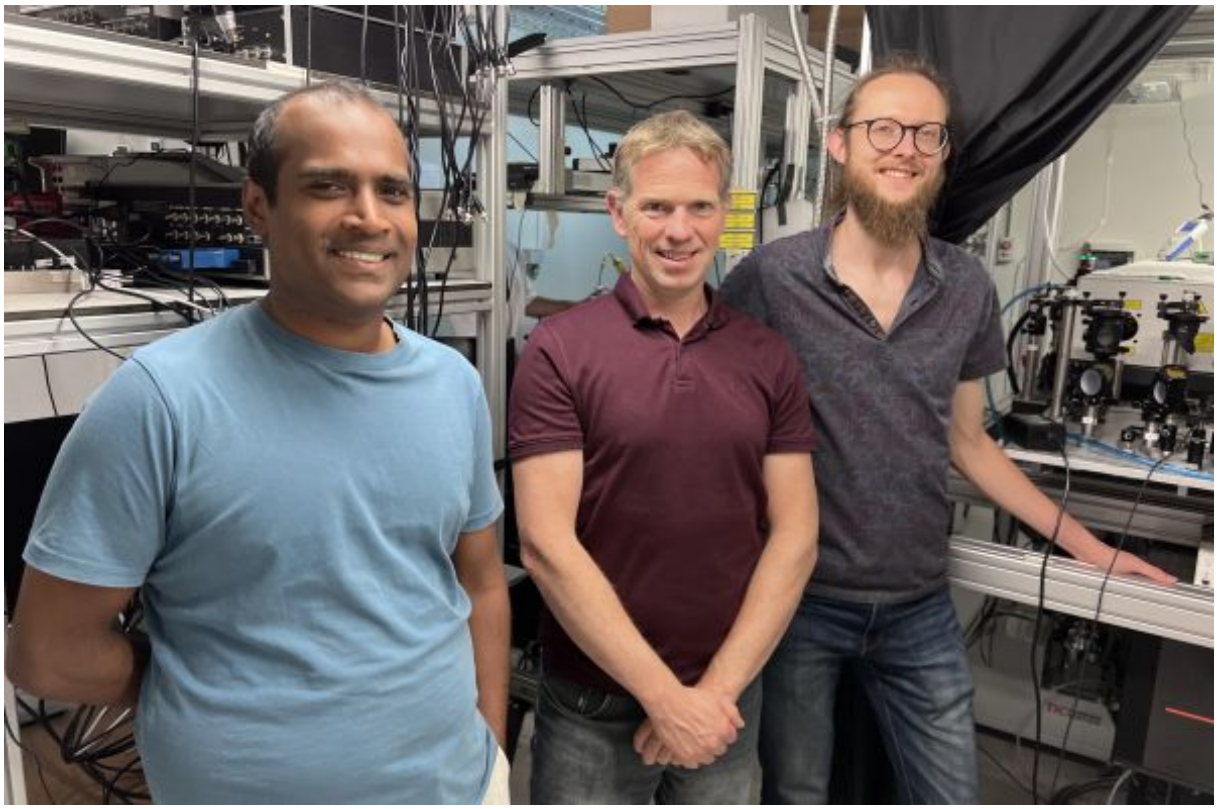


Investigadores del ICFO superan un obstaculo en la deteccion de fotones individuales con materiales 2D girados

En su estudio sobre materiales bidimensionales estratificados, los investigadores del ICFO han logrado observar una anomalia, una transicion inesperada en el estado del sistema que ha sido provocado por luz. Dicha anomalia ha resultado ser una sensibilidad a nivel de foton individual con propiedades extraordinarias que no habian sido accesibles antes: la capacidad de detectar fotones de longitud de onda larga (hasta el infrarrojo medio) a temperaturas relativamente altas.
Los resultados de estas propiedades tan buscadas, publicadas en Science, abren la puerta a una amplia gama de aplicaciones, desde la bioimagen, la astronomia observacional hasta las tecnologias cuanticas.

August 07, 2025

La capacidad de detectar fotones individuales (es decir, los paquetes de energia mas pequenos que constituyen la radiacion electromagnetica) en el rango infrarrojo se ha convertido en una necesidad apremiante en numerosos campos, desde la toma de imagen medica y la astrofisica hasta las tecnologias cuanticas emergentes. En astronomia observacional, por ejemplo, la luz de objetos celestes distantes puede ser extremadamente tenue y requiere tener instrumentos con una sensibilidad excepcional en el infrarrojo medio. De igual manera, en la comunicacion cuantica en el espacio libre -donde los fotones individuales deben viajar a traves de grandes distancias- operar en el infrarrojo medio puede proporcionar ventajas clave en la claridad de la senal.
El uso generalizado de detectores de fotones individuales en este rango se ve realmente limitado por la necesidad de sistemas criogenicos grandes, costosos y de alto consumo energetico para mantener la temperatura de los dispositivos por debajo de 1 grados Kelvin. Esto dificulta la integracion de los detectores resultantes en los circuitos fotonicos modernos, la columna vertebral de las tecnologias de la informacion actuales.
Un equipo internacional de investigadores, liderado por ICFO, ha demostrado una forma de superar esta limitacion. Han utilizado materiales bidimensionales (con un espesor de tan solo un atomo) para detectar fotones individuales de longitud de onda larga (hasta el infrarrojo medio) a temperaturas relativamente altas (alrededor de 25 grados Kelvin). Este hito ha despertado el interes de la Agencia Espacial Europea (ESA), que esta en busqueda de este tipo de detectores para la exploracion espacial.
Los investigadores del ICFO, **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**, dirigidos por el **Dr. Roshan Krishna Kumar** y el **Prof. ICREA del ICFO Frank Koppens**, en colaboracion con el **Prof. Pablo Jarillo-Herrero**, investigador y profesor del Instituto Tecnologico de Massachusetts (MIT) y profesor invitado distinguido del ICFO, asi como investigadores de la Universidad de Manchester, la Universidad de Amberes, entre otras, han informado hoy de sus resultados en la revista Science.

Biestabilidad: un nuevo mecanismo para la deteccion de fotones individuales
i¿½En nuestro grupo, combinamos diferentes materiales 2D. Los apilamos, los giramos y observamos que sucede. Y, a veces, surgen sorpresasi¿½, comenta Frank Koppens, P of. ICREA del ICFO, autor senior del estudio y experto en materiales 2D desde hace mu hos a
os. Una ligera torsion entre las capas de estos materiales 2D induce un patron de interfere cia conocido como patron moire, que modifica las propiedades de los electrones en el material. Se han observado varias propiedades exoticas en estas redes moire, como la superconductividad o el magnetismo orbital. En este trabajo, el ICFO, junto con el equipo internacional, ha anadido otra propiedad exotica a la lista: un fenomeno conocido como

biestabilidad. La biestabilidad permite que un sistema se mantenga en dos estados distintos bajo las mismas condiciones externas, como un interruptor de luz que puede permanecer estable tanto en la posicion de encendido como en la de apagado.
El equipo ha demostrado que la biestabilidad puede servir como un nuevo mecanismo para la deteccion de fotones individuales, una de esas sorpresas que describe Koppens. "Observamos que el material no se comportaba como esperabamos", recuerda. "Asi que pensamos: 'Iluminemoslo un poco y veamos que pasa'. Fue entonces cuando, de repente, observamos una sensibilidad extrema a la iluminacion". Y cuanto mas profundizaban, mas claro se hacia que el material respondia a fotones individuales.
En cuanto a los resultados obtenidos en el experimento, el profesor Jarillo-Herrero destaca: "Este experimento demuestra el gran potencial de los dispositivos cuanticos de moire, no solo en terminos de ciencia fundamental, sino tambien para nuevas aplicaciones en tecnologias cuanticas".

Fotones individuales: la gota que colmo el vaso
El detector en si es estructuralmente simple. Consiste en una bicapa de grafeno (una capa de atomos de carbono de un atomo de espesor, que presenta propiedades fisicas relevantes) intercalada entre capas de nitruro de boro hexagonal (hBN), otro material bidimensional que actua como escudo protector. A pesar de que suene simple el i¿½construir el dispositivo f e complicadoi¿½, explica el Dr. Hitesh Agarwal, primer coautor del estudio, principalm nte porque lograr la alineacion precisa entre el grafeno bicapa y el hBN solo tuvo una tas de exito del 50 %. i¿½Al final, logramos resolverlo gracias a un diseno cuidadoso y a las lecciones aprendidas en experimentos anterioresi¿½ anade. Entonces, ¿como detecta este dispositivo fotones individuales? Intuitivamente, la espuesta se puede comprender con una metafora. Imaginemos una enorme caja vacia sobre una mesa y pongamos un punado de granos de arroz (o gotas de agua) dentro. No ocurre n da. Pero ¿que pasa si seguimos anadiendo mas y mas arroz? Con el tiempo, el peso e volvera excesivo y la mesa se d rrumbara. En el laboratorio, los investigadores disenaron un sistema al borde del colapso. "E lugar de granos de arroz, tenemos corriente electrica fluyendo", afirma el Dr. Krystian N wakowski, primer coautor del articulo. "Y cuando alcanzamos el punto critico, el disposi ivo no se rompe, sino que cambia repentinamente de un estado estable a otro. Cuando se bsorbe un solo foton, es como el grano de arroz o la gota que colma el vaso: desencadena la t ansicion, y eso es lo que de ectamos". Pero ¿como exactamente un solo foton inclina el sistema? "Es algo que todos nos encantaria saber", admite el Dr. Nowakowski. "Tenemos algunas hipotesis por hora, pero necesitamos realizar mas experimentos para poder discernir entre ellas".
Por ahora, tendremos que convivir con e misterio. Lo que si esta claro es que este mecanismo difiere fundamentalmente de l

s procesos convencionales basados en superconductores o semiconductores. Fue precis
mente este mecanismo subyacente el que posibilitó **dispositivo detectar fotones de longitud de onda larga** (hasta el infrarrojo medio) **a temperaturas relativamente altas** (alrededor de 25 grados Kelvin). i¿½El singular mecanismo fisico que sustenta la arquitectura de nuestro detector n
s permite superar las limitaciones fundamentales que frenaban el avance de las tecnologi
s anterioresi¿½, comparte el Dr. Krishna Kumar, cosupervisor del trab
jo. El equipo esta centrado ahora en compactar el sistema y aumentar aun mas la tempera
ura de funcionamiento, ya que este suele ser el factor decisivo para el uso de un dete
tor determinado. Sin embargo, muchos otros factores influyen a la hora de determinar si
una tecnologia determinada se volvera practica. Tal vez este nuevo metodo para detectar fot
nes individuales no resulte util para estudiar galaxias distantes, moleculas medicam
nte relevantes o portadores de informacion cuantica, o tal vez se convierta en un punt
de inflex

Referencia:

Single-photon detection enabled by negative differential conductivity in moire superlattices, K. Nowakowski, H. Agarwal, S. Slizovskiy , R.Smeyers , X. Wang , Z. Zheng , J. Barrier , D. Barcons Ruiz, G. Li , R. Bertini, M. Ceccanti, I. Torre, B. Jorissen, A. Reserbat-Plantey, K. Watanabe, T. Taniguchi, L. Covaci, M. V. Milosevi? , V. Fal'ko , P. Jarillo-Herrero, R. Krishna Kumar, F. H. L. Koppens, 2025, Science.

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