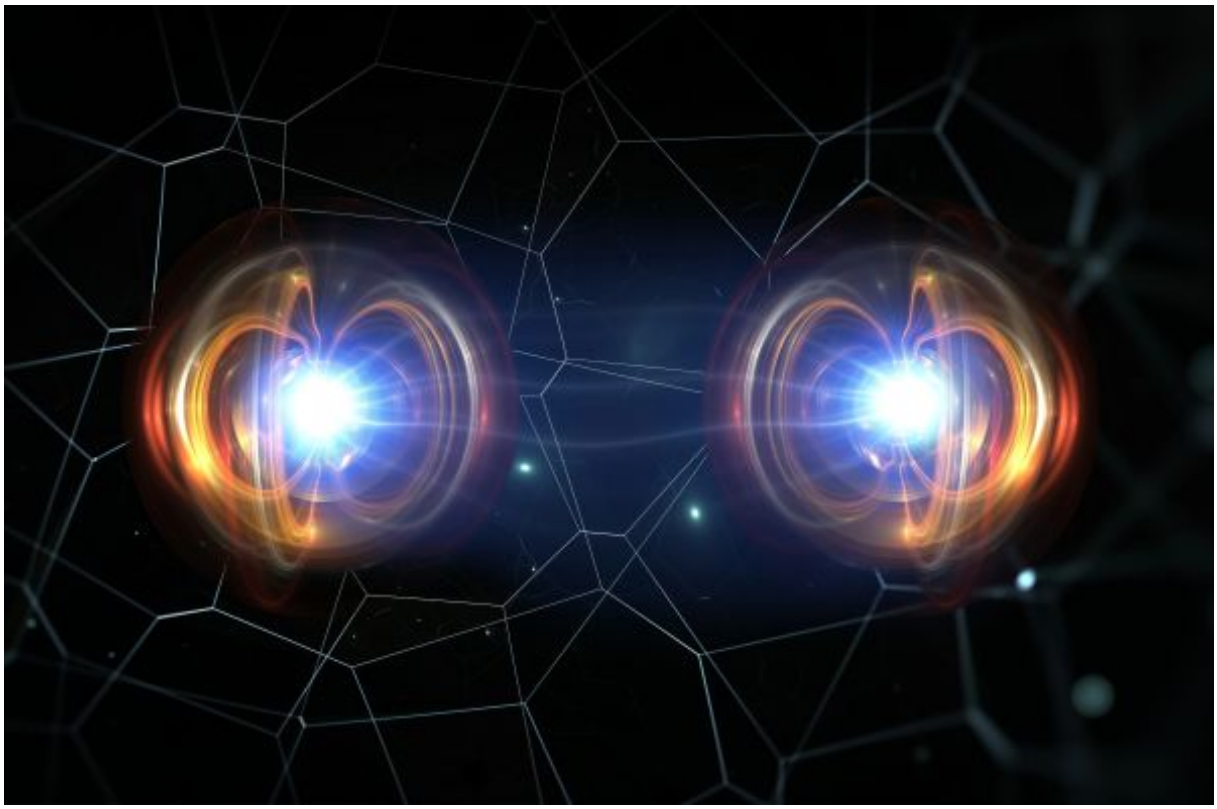


Evidencia experimental muestra que la generacion de altos armonicos produce luz cuantica

Investigadores han demostrado experimentalmente que la luz emitida despues de un proceso de generacion de altos armonicos en semiconductores esta entrelazada y comprimida, dos senales inequivocas de luz cuantica.

November 28, 2024

La generacion de altos armonicos (HHG, por sus siglas en ingles) es un fenomeno altamente no lineal en el cual un sistema (por ejemplo, un atomo) absorbe muchos fotones de un laser y emite fotones de energia mucho mayor, cuya frecuencia es un armonico (es decir, un multiplo) de la frecuencia a la que vibra el laser entrante. Historicamente, la descripcion teorica de este proceso se ha abordado desde una perspectiva semi-clasica, que trata la materia (los electrones de los atomos) cuanticamente, pero la luz incidente clasicamente. Segun este enfoque, los fotones emitidos tambien deberian comportarse de manera clasica. A pesar de esta evidente discrepancia teorica, la descripcion era suficiente para llevar a cabo

la mayoria de los experimentos, y aparentemente no habia ninguna necesidad de cambiar el marco teorico. Solo en los ultimos anos la comunidad cientifica ha comenzado a explorar la posibilidad de que la luz emitida realmente exhiba un comportamiento cuantico, algo que la teoria semi-clasica podria haber pasado por alto. Varios grupos teoricos, incluido el grupo de Teoria de Optica Cuantica del ICFO (ver una noticia relacionada), ya han mostrado que, bajo una descripcion completamente cuantica, el proceso de HHG emite luz con caracteristicas cuanticas.

Sin embargo, la validacion de estas predicciones continuaba eludiendo los esfuerzos experimentales hasta que, recientemente, un equipo liderado por el Laboratoire d'Optique Appliquee (CNRS), en colaboracion con el **Profesor ICREA del ICFO Jens Biegert** y otras multiples instituciones (Institut für Quantenoptik - Leibniz Universitat Hannover, Instituto Fraunhofer de Optica Aplicada e Ingenieria de Precision IOF, Friedrich-Schiller-Universitat Jena), **demostro las propiedades opticas cuanticas de la generacion de altos armonicos en semiconductores**. Los resultados, publicados en Physical Review X Quantum, **estan alineados con las predicciones teoricas previas** sobre la HHG.

En su experimento, la fuente de HHG opera a temperatura ambiente utilizando semiconductores estandar y un laser infrarrojo comercial de femtosegundos. **Esta accesibilidad posiciona la HHG como una plataforma altamente prometedora para generar estados de luz no clasica**, lo que, a su vez, puede allanar el camino hacia dispositivos cuanticos mas robustos y escalables que no requieran sistemas de enfriamiento complejos.

Dos senales inequivocas de luz cuantica

Los teoricos ya habian predicho que los fotones emitidos a traves de un proceso de HHG exhiben un comportamiento cuantico, que se manifiesta en dos caracteristicas definitorias: el entrelazamiento y la compresion.

El entrelazamiento ocurre cuando dos particulas se interconectan de tal manera que medir una influye instantaneamente en el resultado de medir la otra, independientemente de la distancia entre ellas. Estas fuertes correlaciones desafian la intuicion clasica y solo pueden darse en el mundo cuantico de los atomos, electrones y fotones.

La compresion, por otro lado, esta relacionada con la inevitable incertidumbre cuando se miden ciertos pares de propiedades en un sistema cuantico: aumentar la precision de la medicion de una cantidad disminuira la precision de la medicion de la otra. Los estados comprimidos acogen este compromiso. Asi, a costa de aumentar el ruido de una propiedad del par, pueden reducir el ruido de la propiedad complementaria.

En concordancia con predicciones teoricas previas, el equipo demostro experimentalmente la presencia tanto de entrelazamiento como de compresion en la luz emitida. Pero, ¿como l lograron

Evidenciando la naturaleza cuantica de la HHG

Primero, los investigadores dirigieron pulsos laser infrarrojos ultrarrapidos hacia muestras de semiconductores -arseniuro de galio, oxido de zinc y silicio- para inducir la generacion de altos armonicos. De todos los armonicos generados, seleccionaron solo dos de ellos (el tercero y el quinto) usando filtros opticos. Estos fueron enviados a un sistema de deteccion capaz de analizar multiples armonicos simultaneamente, lo cual fue crucial para revelar el comportamiento cuantico de la luz.

La primera senal de la naturaleza cuantica estuvo relacionada con la compresion. El equipo registro que la varianza en los tiempos de llegada de los fotones (y, por ende, la incertidumbre asociada a esta cantidad) disminuia a medida que la intensidad del laser aumentaba. Esta reduccion solo podia explicarse por la compresion, proporcionando una evidencia solida de esta caracteristica. Despues, el equipo se enfoco en el entrelazamiento. Para demostrarlo, midieron la correlacion entre los tiempos de llegada de los fotones provenientes del tercer y quinto armonicos. Los investigadores observaron consistentemente fuertes correlaciones que son prohibitivas para una fuente clasica, indicando de manera inequivoca la presencia de entrelazamiento cuantico.

Estos hallazgos establecen la generacion de altos armonicos como una plataforma ideal para producir sistemas fotonicos entrelazados y comprimidos a temperatura ambiente. i¿½Amb
s caracteristicas son recursos clave para muchas tecnologias cuanticas, que, por ejempl
, dependen del entrelazamiento para transmitir informacion o de la compresion para mejor
r la precision de las medicionesi¿½, explica el Profesor ICREA Jens Biegert. i¿½Ignor
r los efectos opticos cuanticos nos estaba impidiendo detectar caracteristicas no clasicas. Pero, con suerte, ahora podremos explotar todo el potencial de la HHG para aplicacio
es de informacion, comunicacion y sensores cuantic

Referencia:

David Theidel, Viviane Cotte, Rene Sondenheimer, Viktoriia Shiriaeva, Marie Froidevaux, Vladislav Severin, Adam Merdji-Larue, Philip Mosel, Sven Frohlich, Kim-Alessandro Weber, Uwe Morgner, Milutin Kovacev, Jens Biegert, and Hamed Merdji, PRX Quantum 5, 040319 (2024).

DOI: https://doi.org/10.1103/PRXQuantum.5.040319

Agradecimientos:

H.M. acknowledges financial support from the European Innovation Council contract EIC open i¿½NanoXCANi¿½ (Grant No. 101047223) and Architects of Next Genera
ion Communication (ATTOCOM) and Quantum diffractive Nanoscale Microscopy contracts rom the Agence Nationale de la Recherche (ANR). J.B. acknowledges financial support from the European Research Council (ERC) for ERC Advanced Grant i¿½TRANSFORMERi¿½ (G
ant No. 788218), ERC Proof of Concept Grant i¿½miniXi¿½ (Grant No. 84001

), FET OPEN i¿½PETAComi¿½ (Grant No. 829153), FET OPEN i¿½OPTOlogici¿½ (Grant
o. 899794), and FET OPEN i¿½TwistedNanoi¿½ (Grant No. 101046424), from Laserlab-Eu
ope (Grant No. 871124), from the Marie Sk?odowska-Curie Innovative Training Networks (I
N) i¿½smart-Xi¿½ (Grant No. 860553), from the Ministerio de Economia, Comercio
y Empresa (MINECO) for Plan Nacional PID2020-112664 GB-I00, from the Agencia de Gesti
d'Ajuts Universitaris i de Recerca (AGAUR) for 2017 SGR 1639, from M
NECO for i¿½Severo Ochoai¿½ (CEX2019-000910-S), from the Fundacio Cellex Barcelona
from the Centres de Recerca de Catalunya (CERCA) Program-Generalitat de Catalunya, and
from the Alexander von Humboldt Foundation for the Friedrich Wilhelm Bessel Prize. This
work was funded by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (German Research Foundation, DF
) under Grant No. KO 3798/11-1. M.K. acknowledges support from the DFG under Germany'
Excellence Strategy within the Cluster of Excellence PhoenixD (EXC 2122, Project ID
90833453) and Quantum Frontiers (EXC-2123, Project ID 390837967).