



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 mayoría de los experimentos, y aparentemente no había ninguna necesidad de cambiar el marco teórico. Solo en los últimos años la comunidad científica ha comenzado a explorar la posibilidad de que la luz emitida realmente exhiba un comportamiento cuántico, algo que la teoría semi-clásica podría haber pasado por alto. Varios grupos teóricos, incluido el grupo de [Teoría de Óptica Cuántica del ICFO](#) (ver una [noticia relacionada](#)), ya han mostrado que, bajo una descripción completamente cuántica, el proceso de HHG emite luz con características cuánticas.

Sin embargo, la validación de estas predicciones continuaba eludiendo los esfuerzos experimentales hasta que, recientemente, un equipo liderado por el [Laboratoire d'Optique Appliquée](#) (CNRS), en colaboración con el [Profesor ICREA del ICFO Jens Biegert](#) y otras múltiples instituciones ([Institut für Quantenoptik - Leibniz Universität Hannover](#), [Instituto Fraunhofer de Óptica Aplicada e Ingeniería de Precisión IOE](#), [Friedrich-Schiller-Universität Jena](#)), **demostró las propiedades ópticas cuánticas de la generación de altos armónicos en semiconductores**. Los resultados, publicados en *Physical Review X Quantum*, **están alineados con las predicciones teóricas previas** sobre la HHG.

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

Dos señales inequívocas de luz cuántica

Los teóricos ya habían predicho que los fotones emitidos a través de un proceso de HHG exhiben un comportamiento cuántico, que se manifiesta en dos características definitorias: el entrelazamiento y la compresión.

El entrelazamiento ocurre cuando dos partículas se interconectan de tal manera que medir una influye instantáneamente en el resultado de medir la otra, independientemente de la distancia entre ellas. Estas fuertes correlaciones desafían la intuición clásica y solo pueden darse en el mundo cuántico de los átomos, electrones y fotones.

La compresión, por otro lado, está relacionada con la inevitable incertidumbre cuando se miden ciertos pares de propiedades en un sistema cuántico: aumentar la precisión de la medición de una cantidad disminuirá la precisión de la medición de la otra. Los estados comprimidos acogen este compromiso. Así, a costa de aumentar el ruido de una propiedad del par, pueden reducir el ruido de la propiedad complementaria.

En concordancia con predicciones teóricas previas, el equipo demostró experimentalmente la presencia tanto de entrelazamiento como de compresión en la luz emitida. Pero, ¿cómo lo lograron

Evidenciando la naturaleza cuántica 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. Ambas características son recursos clave para muchas tecnologías cuánticas, que, por ejemplo, dependen del entrelazamiento para transmitir información o de la compresión para mejorar la precisión de las mediciones, explica el Profesor ICREA Jens Biegert. Ignorar los efectos ópticos cuánticos nos estaba impidiendo detectar características no clásicas. Pero, con suerte, ahora podremos explotar todo el potencial de la HHG para aplicaciones de información, comunicación y sensores cuánticos.

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 NanoXCANI (Grant No. 101047223) and Architects of Next Generation Communication (ATTOCOM) and Quantum diffractive Nanoscale Microscopy contracts from the Agence Nationale de la Recherche (ANR). J.B. acknowledges financial support from the European Research Council (ERC) for ERC Advanced Grant TRANSFORMER (Grant No. 788218), ERC Proof of Concept Grant miniXi (Grant No. 84001

), FET OPEN i½PETAComi½ (Grant No. 829153), FET OPEN i½OPTOlogici½ (Grant No. 899794), and FET OPEN i½TwistedNanoi½ (Grant No. 101046424), from Laserlab-Europe (Grant No. 871124), from the Marie Skłodowska-Curie Innovative Training Networks (ITN) i½smart-Xi½ (Grant No. 860553), from the Ministerio de Economía, Comercio y Empresa (MINECO) for Plan Nacional PID2020-112664 GB-I00, from the Agència de Gestió d'Ajuts Universitaris i de Recerca (AGAUR) for 2017 SGR 1639, from MINECO for i½Severo Ochoai½ (CEX2019-000910-S), from the Fundació 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, DFG) under Grant No. KO 3798/11-1. M.K. acknowledges support from the DFG under Germany's Excellence Strategy within the Cluster of Excellence PhoenixD (EXC 2122, Project ID 90833453) and Quantum Frontiers (EXC-2123, Project ID 390837967).