



## Investigadores revelan teóricamente la generación de altos armónicos como una nueva fuente de luz cuántica comprimida

Un equipo de investigadores demuestra teóricamente que la luz emitida después de un proceso de generación de altos armónicos (HHG, por las siglas inglesas) no es clásica, sino cuántica y comprimida. El estudio revela el potencial de la HHG como una nueva fuente de luz brillante entrelazada y comprimida, dos características inherentemente cuánticas con varias aplicaciones de vanguardia dentro de las tecnologías cuánticas.

April 09, 2024

La generación de altos armónicos es un fenómeno altamente no lineal en el que un sistema (por ejemplo, un átomo) absorbe muchos fotones de un láser entrante y emite un solo fotón de energía mucho mayor.

Este proceso es crucial para la attociencia (la ciencia de los procesos ultrarrápidos), ya que

genera pulsos de luz ultravioleta de attosegundos, un ingrediente esencial para muchas aplicaciones dentro del campo. En este régimen, los experimentos de HHG se pueden explicar con gran éxito mediante la teoría semiclásica: la materia (los electrones de los átomos) se explica a través de la mecánica cuántica, mientras que la luz entrante se trata de forma clásica. Según este enfoque, como era de esperar, la luz emitida resulta ser clásica, lo que coincide con todas las observaciones anteriores.

Sin embargo, los físicos tienden a sentirse incómodos cuando utilizan dos teorías diferentes (la cuántica y la clásica) para describir el mismo fenómeno. Durante los últimos años, los esfuerzos por comprender la HHG desde una perspectiva óptica cuántica completa han ido creciendo, pero una descripción más general que mostrase diferentes aspectos de la naturaleza cuántica de la radiación saliente parecía un hito difícil de alcanzar.

Ahora, los investigadores del ICFO **Philipp Stammer, Javier Rivera, Dr. Javier Argüello** dirigidos por el **Prof. ICREA Maciej Lewenstein**, junto con investigadores de otras instituciones (la Universidad de Aarhus, la Universidad de Creta, ELI-ALPS, Guadong Technion-Instituto Tecnológico de Israel) han descrito teóricamente la generación de altos armónicos utilizando únicamente la física cuántica y, por primera vez, han encontrado características tanto de compresión como de entrelazamiento simultáneamente en la luz emitida. El estudio, publicado en *Physical Review Letter*, explica por qué las descripciones clásicas anteriores no contradecían las observaciones y, al mismo tiempo, revela un nuevo método para generar recursos ópticos cuánticos con **compresión y entrelazamiento masivo** en un nuevo régimen de frecuencias brillante, dos características de gran interés tecnológico en la actualidad.

### **Un nuevo método para generar entrelazamiento y compresión en la luz**

El **entrelazamiento** reside en el núcleo de la física cuántica, se trata de una de sus características definitorias. A grandes rasgos, cuando dos partículas se entrelazan, medir una de ellas influye en los resultados que se obtendrán tras medir la otra. Contraintuitivamente, esto sigue siendo válido cuando estas partículas se separan arbitrariamente, lo que provoca las llamadas "correlaciones no locales". Hoy en día, el entrelazamiento no se considera un mero fenómeno curioso. En cambio, existe un gran consenso sobre su papel clave dentro de las tecnologías cuánticas. Es por eso que la comunidad cuántica está buscando formas de generar entrelazamiento, no solo entre dos partículas, sino también entre una mayor cantidad de ellas (¿entrelazamiento multipartito?). Otra característica cuántica definitoria es el ruido inevitable cuando se miden algunos parámetros específicos de propiedades de un sistema físico (por ejemplo, la posición y el momento). Para los estados cuasi clásicos, también llamados ¿estados coherentes?, la cantidad de incertidumbre es igual para ambas propiedades y su producto es mínimo. Sin embargo, **estados comprimidos** se puede disminuir el ruido de una propiedad (por ejemplo, de la posición) a expensas de aumentar el otro (del momento), mientras su producto se mantiene

en el valor más bajo posible. Esta característica, la cual es una manifestación directa de la naturaleza cuántica de los estados comprimidos, los hace deseables para varias aplicaciones en tecnología cuántica.

Los modelos ópticos cuánticos teóricos tradicionales de HHG describían los modos del haz de luz resultante (es decir, las diferentes frecuencias a las que oscila el campo electromagnético) como estados coherentes sin entrelazamiento, independientes entre sí. En este contexto, el artículo publicado recientemente ha aportado dos ideas valiosas.

En primer lugar, señala que estudios anteriores ignoraron los distintos estados que puede ocupar el electrón durante el proceso de HHG y que, por ello, el estado final de la luz no mostraba ninguna característica cuántica. Aunque esta suposición era razonable en la mayoría de los experimentos, no proporcionaba la explicación más general del fenómeno.

En segundo lugar, los investigadores mejoraron todo el cálculo teniendo en cuenta explícitamente los diferentes estados que puede ocupar el electrón. Así, el estado final de la luz resultante mostró rasgos cuánticos en cuanto a que los modos estaban comprimidos, en lugar de ser coherentes; y a que estos ya no eran independientes, sino que mostraban un entrelazamiento multipartito. Los investigadores del ICFO indican que esta situación, aunque no es estándar para experimentos de attosegundos, podría ser relativamente fácil de diseñar en el laboratorio.

En definitiva, el equipo ha demostrado que, en condiciones experimentales específicas pero factibles, se puede utilizar la HHG como fuente de luz comprimida con entrelazamiento multipartito. El primer autor del artículo, Philipp Stammer, explica que "los estados masivamente entrelazados son importantes para las tecnologías cuánticas ópticas y abren un nuevo campo de investigación, la generación de campos de luz extremos con propiedades cuánticas". Las aplicaciones podrían implicar áreas como la espectroscopia cuántica, la óptica no lineal o la metrología cuántica, donde el entrelazamiento y la compresión pueden proporcionar una ventaja sobre los láseres clásicos. Ahora es necesaria una realización experimental de su descubrimiento para poder explotar esta nueva fuente de luz cuántica en todo su potencial.