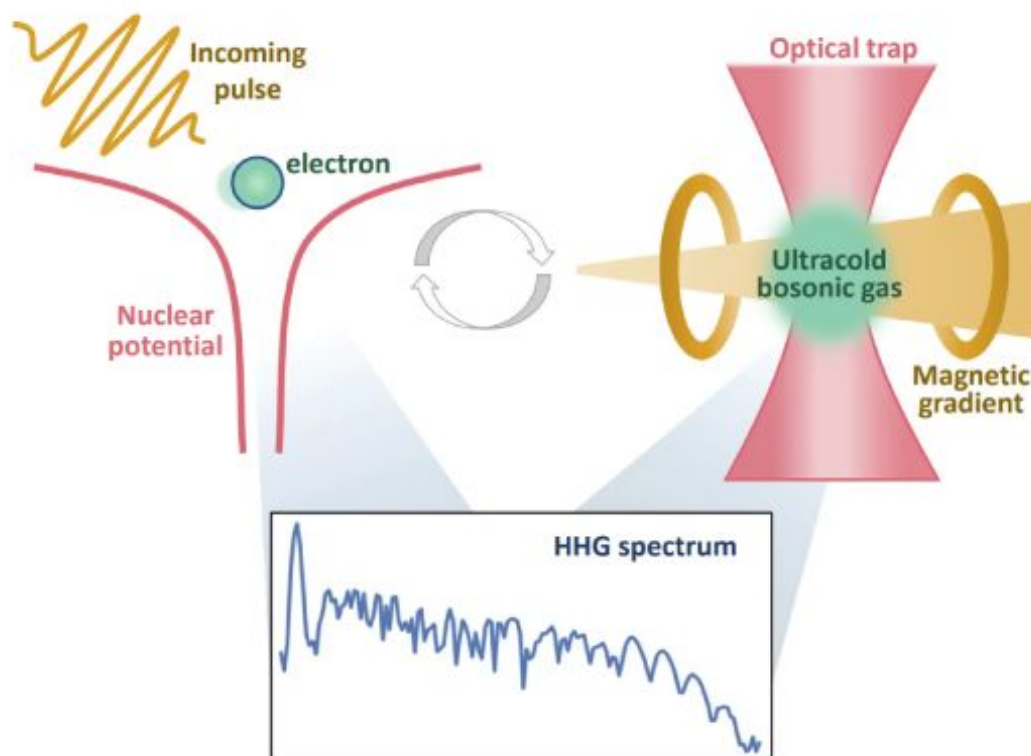




Nuevos simuladores analogicos pueden facilitar el estudio de procesos dinamicos ultrarrapidos

Un equipo de investigadores ha propuesto teoricamente una nueva plataforma experimental basada en simulacion analogica con nubes de atomos para estudiar la generacion de armonicos altos, un proceso dinamico ultrarrapido cuyo estudio desafia los metodos computacionales convencionales. Su simulador se puede adaptar para abordar una amplia gama de fenomenos complejos, abriendo la puerta a regimenes que para la teoria y la experimentacion directa son dificiles de alcanzar.

February 21, 2024

A pesar de todos los exitos en la comprension de la dinamica de los electrones en su escala de tiempo natural de attosegundos (18 ordenes de magnitud menores que un segundo), uno de los procesos fundamentales centrales de este campo, la generacion de armonicos altos (del ingles [high harmonic generation](#) o HHG), sigue representando un reto para la simulacion

de átomos fríos. Se trata de un fenómeno altamente no lineal en el que un sistema absorbe muchos fotones de un láser entrante y emite un solo fotón de energía mucho mayor.

Las características únicas de la HHG la convierten en una fuente excepcional de radiación ultravioleta extrema y, en consecuencia, de pulsos de luz de attosegundos, los cuales tienen importantes aplicaciones en diversos campos como la óptica no lineal o la ciencia de los attosegundos.

El principal obstáculo que impide el estudio de este proceso, además de la ultrarrápida velocidad con la que se produce, es el elevado número de variables implicadas. En cualquier material dado están presentes muchos átomos y electrones, por lo que estudiar la mayoría de los procesos químicos que ocurren en él en toda su complejidad requeriría no solo describir todos estos componentes, sino también sus interacciones con campos externos e incluso entre ellos mismos. Esto resulta ser una tarea extremadamente desafiante para cualquier computadora clásica actual. Una ruta alternativa es utilizar dispositivos cuánticos, construyendo los llamados simuladores analógicos, cuya naturaleza les permite captar mejor la complejidad del sistema.

Ahora, los investigadores del **ICFO Javier Argüello, Javier Rivera y Philipp Stammer**, liderados por el **Prof. ICREA del ICFO Maciej Lewenstein** y en colaboración con otros institutos de todo el mundo (Universidad de Aarhus, Universidad de California y Guangdong Technicon-Instituto Tecnológico de Israel) han propuesto, en una publicación del *Physical Review X Quantum*, un simulador analógico para acceder al espectro de emisión de la HHG utilizando nubes atómicas ultrafrías. Además de mostrar que era posible una replicación precisa de las características clave de los procesos de HHG en los átomos, también brindan detalles sobre cómo implementarla en objetivos atómicos específicos y analizan las principales fuentes de errores.

El potencial de la simulación analógica

Un simulador analógico permite a los científicos estudiar un sistema cuántico complejo (computacionalmente exigente) mediante el control y manipulación de uno mucho más simple, que puede abordarse experimentalmente. Sin embargo, no todas las opciones son válidas, debe existir una conexión entre ambos sistemas.

En este trabajo en particular, el fenómeno complejo que escogieron para poder analizar su idea fue la generación de armónicos altos. Allí, los electrones ligados al átomo atraviesan por efecto túnel la barrera formada por el potencial atómico de Coulomb y el campo eléctrico de un láser. Luego, esos electrones libres se aceleran, provocando la emisión de radiación de frecuencias armónicas características al recombinarse con sus iones originales. Este es el espectro de emisión de la HHG que los investigadores querían recuperar.

Por otro lado, la conexión a un sistema cuántico mucho más simple se obtuvo reemplazando convenientemente ciertos componentes. En lugar de un electrón y un potencial nuclear, propusieron trabajar con un gas atómico que quedaba atrapado por un rayo láser; y en lugar

de la luz entrante y su campo eléctrico, sugirieron la aplicación un gradiente magnético externo que podía sintonizarse a voluntad. Resulta que las imágenes de absorción de este sistema diseñado artificialmente coinciden con la producción de emisión deseada. Por lo tanto, al tomar imágenes de absorción del simulador analógico, se puede estudiar indirectamente el espectro de emisión de la generación atómica de armónicos altos.

Una nueva plataforma para la simulación ultrarrápida

Al final, el grupo de investigación ha allanado el camino para demostrar el potencial de su método alternativo a la hora de abordar sistemas complejos que de otro modo solo podrían aproximarse teóricamente. Se demostró que los simuladores analógicos actuales podían recuperar el espectro de emisión de la HHG, se pudo establecer una correspondencia entre los parámetros experimentales y simulados e incluso se proporcionó un análisis experimental exhaustivo.

Además, la plataforma tiene una doble ventaja. En primer lugar, los elementos que emulan el campo entrante y el potencial nuclear se pueden sintonizar fácilmente. Y en segundo lugar, la simulación también proporciona una ampliación temporal. Esto implica un alto nivel de accesibilidad, ya que se puede evitar la escala de tiempo de attosegundos, permitiendo a los científicos trabajar en un marco mucho más lento (y, por tanto, práctico).

El equipo destaca la capacidad de adaptabilidad de su enfoque, que no se limita exclusivamente a simular la HHG, sino que podrían extenderse a otras configuraciones más exóticas. En particular, la simulación de procesos ultrarrápidos, como la dinámica multielectrónica o la reacción de la materia a la luz no clásica, son los que podrían beneficiarse más.

P.S. acknowledges funding from the European Union's Horizon H2020 under the Marie Skłodowska-Curie grant agreements No 847517.