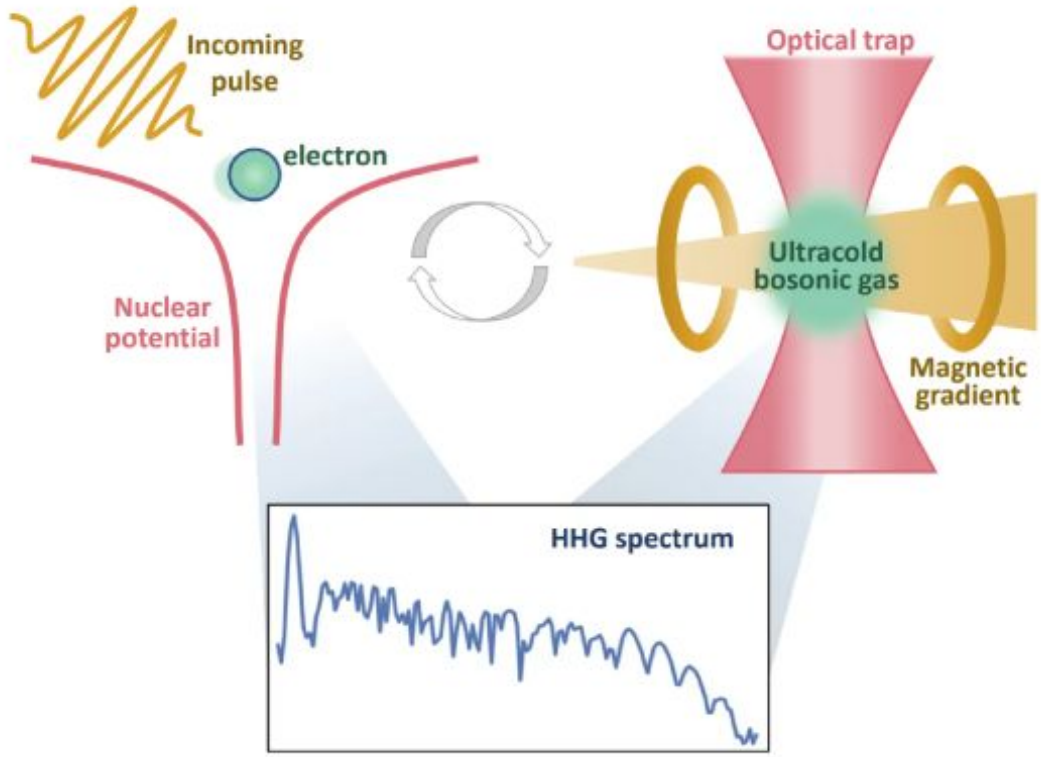

Nuevos simuladores analogicos pueden facilitar el estudio de procesos dinamicos ultrarrapidos

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 atomos frios. Se trata de un fenomeno altamente no lineal en el que un sistema absorbe muchos fotones de un laser entrante y emite un solo foton de energia mucho mayor.
Las caracteristicas unicas de la HHG la convierten en una fuente excepcional de radiacion ultravioleta extrema y, en consecuencia, de pulsos de luz de attosegundos, los cuales tienen importantes aplicaciones en diversos campos como la optica no lineal o la ciencia de los attosegundos.
El principal obstaculo que impide el estudio de este proceso, ademas de la ultrarrapida velocidad con la que se produce, es el elevado numero de variables implicadas. En cualquier material dado estan presentes muchos atomos y electrones, por lo que estudiar la mayoria de los procesos quimicos que ocurren en el en toda su complejidad requeriria no solo describir todos estos componentes, sino tambien sus interacciones con campos externos e incluso entre ellos mismos. Esto resulta ser una tarea extremadamente desafiante para cualquier computadora clasica actual. Una ruta alternativa es utilizar dispositivos cuanticos, construyendo los llamados simuladores analogicos, 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 colaboracion con otros institutos de todo el mundo (Universidad de Aarhus, Universidad de California y Guangdong Technicon-Instituto Tecnologico de Israel) han propuesto, en una publicacion del Physical Review X Quantum, un simulador analogico para acceder al espectro de emision de la HHG utilizando nubes atomicas ultrafrias. Ademas de mostrar que era posible una replicacion precisa de las caracteristicas clave de los procesos de HHG en los atomos, tambien brindan detalles sobre como implementarla en objetivos atomicos especificos y analizan las principales fuentes de errores.

El potencial de la simulacion analogica

Un simulador analogico permite a los cientificos estudiar un sistema cuantico complejo (computacionalmente exigente) mediante el control y manipulacion de uno mucho mas simple, que puede abordarse experimentalmente. Sin embargo, no todas las opciones son validas, debe existir una conexion entre ambos sistemas.
En este trabajo en particular, el fenomeno complejo que escogieron para poder analizar su idea fue la generacion de armonicos altos. Alli, los electrones ligados al atomo atraviesan por efecto tunel la barrera formada por el potencial atomico de Coulomb y el campo electrico de un laser. Luego, esos electrones libres se aceleran, provocando la emision de radiacion de frecuencias armonicas caracteristicas al recombinarse con sus iones originales. Este es el espectro de emision de la HHG que los investigadores querian recuperar.
Por otro lado, la conexion a un sistema cuantico mucho mas simple se obtuvo reemplazando convenientemente ciertos componentes. En lugar de un electron y un potencial nuclear, propusieron trabajar con un gas atomico que quedaba atrapado por un rayo laser; y en lugar

de la luz entrante y su campo electrico, sugirieron la aplicacion un gradiente magnetico externo que podia sintonizarse a voluntad. Resulta que las imagenes de absorcion de este sistema disenado artificialmente coinciden con la produccion de emision deseada.
Por lo tanto, al tomar imagenes de absorcion del simulador analogico, se puede estudiar indirectamente el espectro de emision de la generacion atomica de armonicos altos.

Una nueva plataforma para la simulacion ultrarrapida

Al final, el grupo de investigacion ha allanado el camino para demostrar el potencial de su metodo alternativo a la hora de abordar sistemas complejos que de otro modo solo podrian aproximarse teoricamente. Se demostro que los simuladores analogicos actuales podian recuperar el espectro de emision de la HHG, se pudo establecer una correspondencia entre los parametros experimentales y simulados e incluso se proporciono un analisis experimental exhaustivo.
Ademas, la plataforma tiene una doble ventaja. En primer lugar, los elementos que emulan el campo entrante y el potencial nuclear se pueden sintonizar facilmente. Y en segundo lugar, la simulacion tambien proporciona una ampliacion temporal. Esto implica un alto nivel de accesibilidad, ya que se puede evitar la escala de tiempo de attosegundos, permitiendo a los cientificos trabajar en un marco mucho mas lento (y, por tanto, practico).
El equipo destaca la capacidad de adaptabilidad de su enfoque, que no se limita exclusivamente a simular la HHG, sino que podrian extenderse a otras configuraciones mas exoticas. En particular, la simulacion de procesos ultrarrapidos, como la dinamica multielectronica o la reaccion de la materia a la luz no clasica, son los que podrian beneficiarse mas.

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