

Nuevos escenarios de la óptica de pulsos de Femto y Attosegundos

Objetivo del proyecto

Los pulsos láser ultracortos, con duración de unos cuantos femtosegundos (10^{-15} s) han supuesto una auténtica revolución tecnológica en la física de fenómenos ultrarrápidos. Hoy en día, el desarrollo de nuevas tecnologías de anclaje de modos y postcompresión permiten la generación de pulsos en el infrarrojo (IR) de pocos ciclos de duración (unos cuantos femtosegundos), perfectamente coherentes y con parámetros controlados. El desarrollo de esta tecnología láser, unido a la aparición de nuevas técnicas de generación de armónicos, permiten generar pulsos con radiación en el ultravioleta lejano (XUV) o, incluso, en los rayos X blandos, coherentes y con duraciones de unas decenas de attosegundos (10^{-18} s). Estos pulsos láser de attosegundo constituyen las herramientas más precisas para observar y controlar los procesos más rápidos que ocurren en la naturaleza, como por ejemplo el movimiento de electrones dentro de sistemas atómicos o moleculares. Comparado con otros escenarios en la frontera de la física, la investigación en este campo no requiere de grandes instalaciones, lo que fomenta la diversidad y competencia entre laboratorios, permitiendo un rápido desarrollo a partir de la interacción constante entre teoría, experimentos y desarrollos tecnológicos.

En este proyecto se propone tres objetivos fundamentales para la investigación en los próximos tres años. En primer lugar, se trata de afianzar y extender los modelos de simulación de la generación de armónicos y su propagación, y de la generación de pulsos de attosegundo. El constante desarrollo de estos métodos permite la colaboración con grupos experimentales de vanguardia en la propuesta de nuevos esquemas y técnicas que les sitúan en la frontera del conocimiento. El continuo desarrollo de éstas estimula a introducir nuevos escenarios, como por ejemplo, gases a alta presión, haces con polarizaciones arbitrarias, esquemas de doble haz, etc. Entre ellos cabe resaltar la generación de armónicos de orden alto con vórtices de luz, tema del que son pioneros en la aproximación teórica. El segundo objetivo se centra en la descripción de la propagación no lineal del campo infrarrojo que genera los armónicos y los pulsos de attosegundo. El estudio de la variación de estos pulsos de femtosegundo durante la propagación es fundamental para describir situaciones realistas de generación de armónicos y, por tanto, es un objetivo muy interrelacionado con el primero. Exploraran también nuevos escenarios de propagación basados en fibras de cristal fotónico, especialmente "twisted fibres", como las que están siendo desarrolladas actualmente en el Instituto Max Planck (Erlangen). Finalmente, plantearan un tercer objetivo que representa una exploración de recientes escenarios cuya aplicación a la generación de armónicos y pulsos de attosegundo está todavía muy poco investigada. En este sentido, las propiedades ópticas inusuales del grafeno y de las resonancias plasmónicas en puntas nanométricas ofrecen un apasionante punto de ruptura con respecto a las aplicaciones tradicionales de los pulsos ultracortos.

Financiación del proyecto

Programa Estatal de Fomento de la Investigación Científica y Técnica de Excelencia, Subprograma Estatal de Generación de Conocimiento, en el marco del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2013-2016. Convocatoria 2016, www.idi.mineco.gob.es

Participantes del proyecto

Grupo ALF-USAL (UIC016), Universidad de Salamanca, <https://laser.usal.es>, www.usal.es

Ministerio de Economía, industria y competitividad, www.mineco.gob.es

Periodo de ejecución

Del año 2016 al 2019.

Justificación del proyecto

En las últimas décadas, el desarrollo de la ciencia y de la tecnología de los pulsos láser ultracortos ha sido espectacular. El grupo desarrolla su actividad en este ámbito, contando con un equipo teórico en la vanguardia para las simulaciones de los procesos de interacción láser-materia, que ofrece apoyo teórico a grupos experimentales, tanto del ámbito nacional como internacional. La colaboración con los grupos experimentales es estratégica puesto que amplifica el impacto de nuestros trabajos. Gracias a ésta han tenido el privilegio de formar parte de los equipos de investigación que lideran el desarrollo de las fuentes coherentes de XUV y rayos X, estando en la primera propuesta de método para la generación de rayos X intensos basados en armónicos, proponiendo nuevos métodos para el control de la polarización y demostrando nuevas vías para la generación de armónicos y su detección. Todos estos resultados publicados en revistas de alto impacto, algunas de ellas, como Science, evaluadas en los ranking internacionales de universidades, lo que redundan en la mejora de la posición de Castilla y León en ellos.

La investigación que proponen permitirá, por un lado, seguir posicionando sus modelos y métodos entre los más eficientes en el panorama internacional, y por tanto seguir contribuyendo de forma colegiada con grupos experimentales a la ampliación de las fronteras actuales de la femto- y atto-física. Por otro lado, exploran nuevos escenarios desde el punto de vista teórico, con el fin de elaborar propuestas originales que signifiquen puntos de ruptura con los métodos actuales y, por tanto, con un fuerte potencial innovador.

Funciones de SCAYLE

La forma más precisa de calcular armónicos de orden alto (cuyas siglas en inglés son HHG), es mediante la resolución numérica de la ecuación de Schrödinger. Sin embargo, es bien conocido que para obtener soluciones de esta ecuación, las cuales recrean las interacciones luz láser-materia que dan lugar a la generación de armónicos de alta frecuencia, se necesitan ingentes cantidades de

memoria. Dichos recursos hoy en día sólo están disponibles en supercomputadores, dónde muchas máquinas comunicadas entre sí cooperan para la realización de una tarea. En este caso, el tamaño de los cálculos viene dado por la longitud de onda de la luz láser utilizada en la interacción: a mayor longitud de onda, mayor la memoria requerida para el cálculo. Por esta razón, el cálculo de interacciones con láseres de longitudes de onda en el infrarrojo medio (entorno a unas dos micras), es especialmente problemático, porque los recursos computacionales necesarios llegan incluso al límite de capacidad de los actuales supercomputadores, convirtiendo esta tarea en irrealizable de forma práctica.

Por ello se hace indispensable utilizar modelos simplificados que permitan reducir el coste computacional de este tipo de cálculos. Para este fin nos servimos de la SFA+, una extensión de la aproximación de campo fuerte (SFA son sus siglas en inglés) en su versión convencional. De esta manera conseguimos reducir en horas, incluso minutos, el tiempo de cálculo que de otra manera, utilizando la ecuación de Schrödinger, nos podría llevar semanas.

Una vez que obtenemos el espectro de armónicos para un sólo átomo, pasamos a calcular la propagación de estos armónicos en un medio (por ejemplo un gas) sirviéndonos de las ecuaciones del electromagnetismo de Maxwell. Considerando cada átomo como una fuente de radiación, podemos sumar coherentemente las contribuciones de todos los átomos para finalmente obtener la radiación total.

Este esquema de resolución del problema nos permite plantear estrategias de distribución y paralelización del cálculo en supercomputadores, en la que cada procesador pueda calcular independientemente el espectro de armónicos de un átomo en particular, para posteriormente comunicar todas las contribuciones locales y obtener el resultado final. Es aquí donde el uso intensivo de los recursos de SCAYLE es crucial para la obtención de los cálculos, y por lo tanto para la continuidad de la investigación.

Líder del proyecto

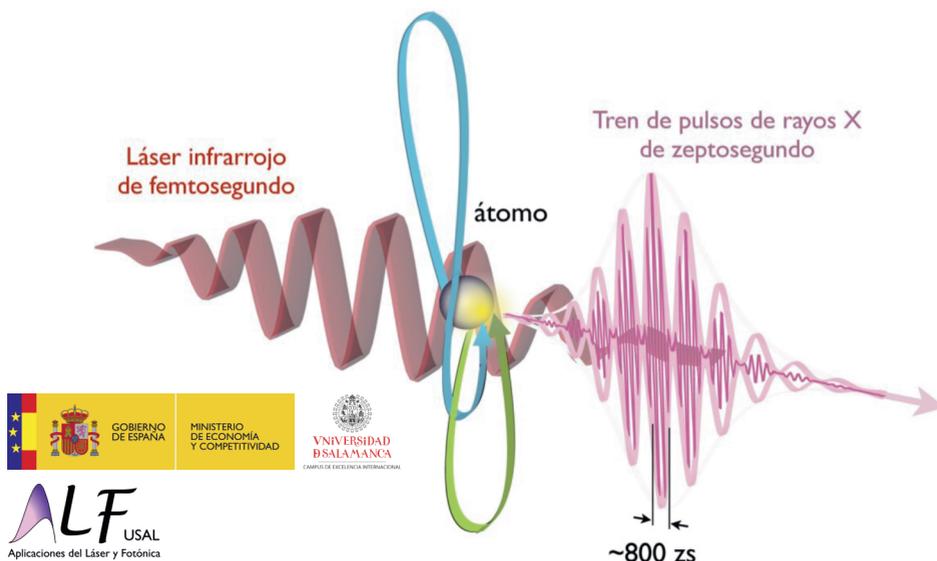
GRUPO ALF-USAL (UIC016), <https://laser.usal.es>

Los miembros del grupo ALF-USAL (UIC016) llevan desarrollando sus investigaciones en torno a los láseres de potencia de pulso corto desde 1992. Desde esa fecha la Universidad de Salamanca ha desarrollado un papel de creciente relevancia en el ámbito internacional. El grupo está compuesto de 7 investigadores sénior, cada uno reconocido con dos o más sexenios de investigación continuada. La participación en el grupo de profesores de varios departamentos (Física Aplicada e Ingeniería Mecánica) introduce un carácter interdisciplinar que permite abordar su ámbito de investigación desde las diferentes perspectivas de la I+D+i (fundamental, aplicada y tecnológica), sin descuidar la transferencia de tecnología y servicios a otros centros y empresas. Por otro lado, como profesores de universidad ponen un esfuerzo especial en que su tarea científica revierta en la formación de los jóvenes, a todos los niveles de educación universitaria (grado, máster y doctorado), así como en la captación de talento pre-universitario y en la divulgación en general.

Entre sus líneas de investigación, orientadas siempre al estudio de los láseres de pulso ultracorto y alta potencia, se encuentran:

- Propagación no lineal de pulsos ultracortos (filamentación y postcompresión).
- Técnicas de caracterización de pulsos ultracortos.
- Procesos paramétricos con pulsos ultracortos.
- Generación de armónicos de orden elevado.
- Ablación de materiales con pulsos ultracortos.
- Fabricación de dispositivos fotónicos mediante escritura láser.
- Microprocesado láser 3D.
- Fotónica aplicada a la biomedicina (transiluminación).

Colaboran con numerosos grupos del panorama internacional, resaltando el Prof. Feng Chen (State Key Laboratory on Crystal Materials, Shandong University, China), que lidera uno de los grupos líderes mundiales en fotónica integrada en cristales no lineales, o el grupo del Prof. Helder Crespo (Universidade do Porto), reconocido por su método de caracterización d-Scan.



Código FIS2016-75652-P

Esquema de generación de pulsos de attosegundo y zeptosegundo.