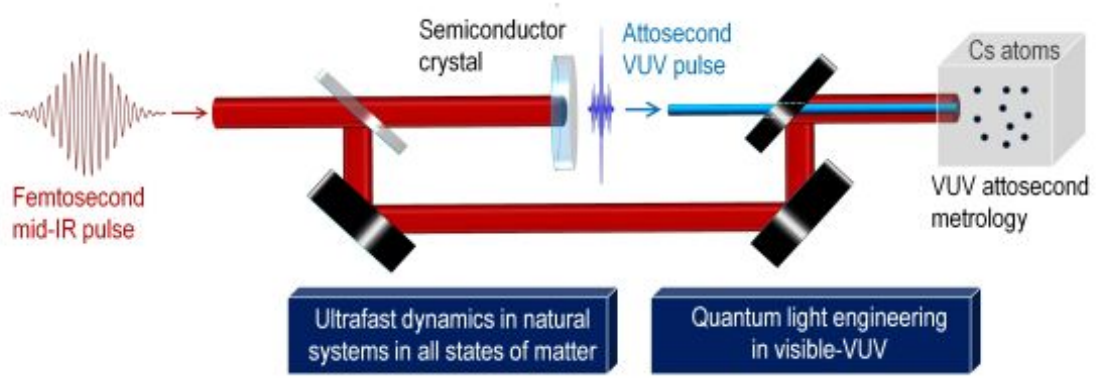


Cientifics creen polsos d?attosegons de durada en el rang del buit ultraviolat per rastrejar processos ultrarapids en sistemes naturals

Un equip d'investigadors ha presentat a Nature Communications una nova tecnica capac de generar i caracteritzar polsos de llum d'attosegons (10?¹? segons) en el rang espectral del buit ultraviola utilitzant cristalls semiconductors il·luminats per intensos cam s laser. Gracies a aquests polsos, es possible estudiar dinamiqu s ultrarapides en sistemes naturals que es trobin en qualsevol est t de la materia.

February 07, 2025

Els electrons en els atoms interactuen entre si i amb altres particules, modificant el seu moviment, energies i altres caracteristiques en escales de temps increiblement rapides, de

l'ordre dels attosegons (10?¹? segons). Per capturar aquests canvis ultrarapids, es requereixe polsos de llum igualment ultrarapids. La durada del pols ha de ser comparable a la de l'efect que es vol observar; en cas contrari, seria com intentar capturar el moviment de les ales d'u colibri amb una camera de molt llarga exposicio

A finals del segle XIX, els fisics pensaven que nomes era tecnicament possible generar polso de femtosegons (10?¹? segons). Tanmateix, aixo va comencar a canviar a finals de la deca a de 1980, quan es va establir la connexio entre la generacio d'alts harmonics i l'attociencia. a generacio d'alts harmonics (HHG, per les seves sigles en angles) es un proces que converte x fotons de baixa freqüencia en fotons de freqüencia mes alta. El que els investigadors van descobrir es que, quan s'emeten multiples harmonics, aquests poden combinar-se per formar un pols de llum d'attosegons, cosa que finalment es va aconseguir el 2 01. L'attociencia va neixer amb la generacio i l'us de polsos en el rang extrem de l'ultravi lat (XUV), fet que va conduir al desenvolupament de metodes de deteccio i caracteritz cio centrats en aquestes freqüencies. Mes de 20 anys despres, la creacio de polsos d'attos gons continua centrat en la llum XUV. Tot i els avencos que han permes els polsos d'attos gons XUV, aquests presenten una limitacio important: la majoria dels atoms, en ser impactat per una font de llum tan energetica, perden un o mes electrons, es a dir, s'ionitzen. Ara be, olts processos naturals d'interes es produeixen en atoms no ionitzats, que roman n en l'anomenat estat lligat. Ates que la llum XUV no permet estudiar aquests estats lligats els quals es produeixen molt sovint en els sistemes naturals, la seva analisi ha quedat fo a de l'abast de l'attociencia. Per abordar aquest problema, es necessari comptar amb una font capac de generar polsos d'attosegons de menor energia (per exemple, en el rang del buit ultraviolat) i desenvolupar nous metodes per mesurar-ne les principals caracteristiques com la durada i la intens

tat. Ara, un equip internacional d'investigadors de ELI-ALPS, Guangdong Technion- I rael Institute of Technology, Technische Universitat Wien, Universite de Bordeaux-CNRS CEA, Foundation for Research and Technology-Hellas (FORTH) i els investigadors de l'ICFO, en **Philipp Stammer**, el **Dr. Javier Rivera-Dean** i el **Prof. ICREA Maciej Lewenstein**, ha assolit aquest objectiu. Per primera vegada, l'equip ha demostrat que **els semiconductors il·luminat per llum laser en el rang mitja de l'infraroig emeten polsos d'attosegons en el buit ultraviolat** (VUV, per les sigles en angles). A mes, han obtingut la forma temporal d'aquests polsos i n'han mesurat la durada total. Aquests resultats inedits, publicats a Nature Communications, estableixen les bases d'una nova tecnica per estudiar canvis ultrarapids en sistemes naturals, preservant el seu estat lligat en lloc d'induir-ne la ionitzacio.

Produccio i caracteritzacio de polsos d'attosegons VUV

Per confirmar la generacio de polsos d'attosegons VUV i comprendre'n les propietats, els investigadors van dissenyar i implementar un experiment que combinava materials semiconductors amb intensos camps laser.

En l'experiment, un feix de llum en el rang mitja de l'infraroig (mid-IR) il·luminava un cristal semiconductor, generant alts harmonics, la superposicio dels quals va donar lloc a polso d'attosegons VUV. Aquests polsos es van dirigir cap a atoms de cesi, una de les poque especies que, a diferencia dels atoms utilitzats en els esquemes convencionals d'attociencia es poden ionitzar amb llum VUV. Tal com s'esperava, en presencia del camp mid-IR, el polsos VUV van ionitzar els atoms de cesi. Analitzant els electrons expulsats, el investigadors van poder mesurar la sincronitzacio (que es produia en un rang de poc attosegons) dels alts harmonics que constituien els polsos VUV, fet que va permetr extreure'n informacio clau

Els resultats experimentals van coincidir amb les prediccions teoriques**, confirmant la generacio de polsos VUV amb una durada de 950 attosegons**.

Potencial per a futures tecniques

Aquests descobriments presenten els **semiconductors** il·luminats per lasers intensos co una**nova font de polsos d'attosegons** i destaquen el seu potencial per estudiar processos ultrarapids en una gamma mes amplia de materials. i¿½Hem desenvolupat eines per rastrej r dinamiques ultrarapides en estats lligats (els quals es produeixen freqüentment a la natu a) en tots els estats de la materia, incloent-hi atoms, molecules en fase gasosa i liquida i solidsi¿½, explica el Dr. Paraskevas Tzallas, investigador de FORTH i co-autor de l'art cle. Els autors tambe destaquen que, segons estudis previs, la radiacio HHG generada per toms pot produir llum quantica, amb propietats com l'entrellacament o el squeezing (compr ssio quantica). La seva investigacio representa un pas crucial cap a la demostracio experim ntal d'aquest fenomen en semiconductors, fet que, si s'aconsegueix, permetria noves aplica ions en diverses tasques de processament d'informacio quan ica. En conjunt, el Dr. Tzallas considera i¿½**aquestes noves eines i metodologies podri n utilitzar-se per estudiar sistemes naturals, investigar-ne les dinamiques ultrarapides i fins i t t fer-les servir per dissenyar nous estats de llum quantica**¿?

Referencia:

Nayak, A., Rajak, D., Farkas, B. et al. Attosecond metrology of vacuum-ultraviolet high-ord r harmonics generated in semiconductors via laser-dressed photoionization of alka i metals. Nat Commun 16, 1428 (20 5). DOI: https://doi.org/10.1038/s41467-025-567

###

Agraiments:

We thank Balint Kiss, Levente Abrok and Rajaram Shrestha for their technical support and their efforts on the operation of the mid-IR laser system. We also thank Arnold Peter Farkas,

for the methods that he developed for introducing the Cs sample in the interaction chamber. The experiments were carried out at ELI ALPS, and ELI-ALPS is supported by the European Union and co-financed by the European Regional Development Fund (GINOP-2.3.6-15-2015-00001).
Tzallas group at FORTH acknowledges support from: The Hellenic Foundation for Research and Innovation (HFRI) and the General Secretariat for Research and Technology (GSRT) under grant agreement CO2toO2 Nr.:015922, the European Union's HORIZON-MSCA-2023-DN-01 project QU-ATTO under the Marie Sk?odowska-Curie grant agreement No 101168628, the LASERLABEUROPE V (H2020-EU.1.4.1.2 grant no.871124), The H2020 Project IMPULSE (GA 871161), and ELI-ALPS.
Lewenstein group at ICFO acknowledges support from: ERC AdG NOQIA; Ministerio de Ciencia y Innovation Agencia Estatal de Investigaciones (PGC2018-097027-B-I00 / 10.13039/501100011033, CEX2019-000910-S / 10.13039 / 501100011033, Plan National FIDEUA PID 2019-106901GB-I00, FPI, QUANTERAMAQS PCI 2019-111828-2, QUANTERA DYNAMITE PCI 2022-132919, Proyectos de I+D+I i¿½Retos Colaboracioni¿½ QUSPIN RTC 2019-007196 7); MICIIN with funding from European Union Next Generation EU (PRTR-C17.I1) an by Generalitat de Catalunya; Fundacio Cellex; Fundacio Mir-Puig; Generalitat de Catal nya (European Social Fund FEDER and CERCA program, AGAUR Grant No. 2021 SGR 01 52, Quantum-CAT U16-011424, co-funded by ERDF Operational Program of Catalonia 2014-20 0); Barcelona Supercomputing Center MareNostrum (FI-2022-1-0042); EU Horizon 020 FET-OPEN OPTOlogic (Grant No 899794); EU Horizon Europe Program (Grant Agree ent 101080086-NeQST), National Science Centre, Poland (Symfonia Grant No. 2016/20/W/ST4/00314); ICFO Internal i¿½QuantumGaudii¿½ project; European Union's Horizon 2020 research and innovation program under the Marie-Sk?odowska-Cur e grant agreement No 101029393 (STREDCH) and No 847648 (i¿½La Caixai¿½ Ju ior Leaders fellowships ID100010434 : LCF / BQ / PI19 / 11690013, LCF / BQ / PI20 / 11760031 LCF / BQ / PR20 / 11770012, LCF / BQ / PR21 11840013). Stammer acknowledges funding from: The European Union's Horizon 2020 esearch and innovation programme under the Marie Sk?odowska-Curie grant agreement N 847517. J. Rivera-Dean acknowledges funding from: the Secretaria d'Universitats i Recerca del Departament d'Empresa i Coneixement de la Generalitat de Catalunya, the Eur pean Social Fund (L'FSE inverteix en el teu futur)-FEDER, the Government of Spain (evero Ochoa CEX2019-000910-S and TRANQI), Fundacio Cellex, Fundacio Mir-Puig, Ge eralitat de Catalunya (CERCA program) and the ERC AdG CERQUTE. Y. Mairesse acknowle ges funding from the Agence Nationale de la Recherche (ANR)- Shotime (ANR-21-CE30-38-01), and thanks Samuel Beaulieu for fruitful discussion. M. F. Ciappina and C. Granados acknowledge financial support from the Guangdong Province Science and Technology M jor Project (Future functional materials under extreme conditions - 2021B0301030005) a d Guangdong Natural Science Foundation (General Program project No. 2023A1515010871).