

Premiul Nobel pentru fizică 2023: o opinie personală

În acest an, laureații **Premiului Nobel pentru Fizică** sunt **Pierre Agostini** (Ohio State University), **Ferenc Krausz** (Max Planck Institute for Quantum Optics) și **Anne L'Huillier** (Lund University). Motivația acordării acestui premiu este "**pentru metodele experimentale care generează pulsuri de lumină de attosecunde pentru studiul dinamicii electronilor în materie**". Descoperirea pulsurilor de attosecunde reprezintă într-adevăr o piatră de hotar în studiul dinamicii electronilor în materie. Cu toate acestea, întrucât pulsurile sunt foarte greu de pus în evidență, existența lor a fost demonstrată inițial prin înregistrarea nu a "feței" temporale, ci a celei spectrale pe care o arată experimenterilor. Acesta este motivul pentru care prima parte a motivației indică *metodele experimentale* ca fiind cea mai valoroasă parte a activității celor trei laureați ai Premiului Nobel.

Partea spectrală a pulsurilor de attosecundă sunt armonicile de ordin înalt (HH), acestea au fost măsurate și caracterizate pentru prima dată. HH sunt generate în interacțiunea dintre un puls laser ultracurt (durata poate fi cuprinsă între 4 și 100 de femtosecunde) și un atom sau o moleculă. Pentru simplificare, să luăm cazul interacțiunii pulsului laser cu atomul de He. Câmpul electric al pulsului laser este foarte intens (datorită duratei scurte) și este comparabil cu câmpul Coulomb care ține cei doi electroni în jurul nucleului. La un maxim al câmpului (imaginați-vă o variație sinusoidală a câmpului), un electron poate fi extras din atom și va fi îndepărtat de acesta. Între timp, unda câmpului electric va trece prin zero și își va schimba semnul, începând să frâneze electronul, apoi să-l accelereze înapoi spre atom. Dacă electronul are șansa de a se recombină cu atomul părinte, toată energia sa cinetică dobândită în excursia sa va fi transformată într-un foton de mare energie care va fi emis sub forma unui puls de durate zeci de attosecunde. Această imagine simplă a fost formulată pentru prima dată de Paul Corkum, un cercetător din Canada a cărui contribuție în domeniu este, în opinia mea, clar măsurabilă cu cea a celor trei laureați ai premiului Nobel.

Evident, acest proces are loc în fiecare ciclu optic al pulsului laser sau, mai bine spus, în cele mai intense, situate în partea centrală a pulsului. Rezultatul final este un tren de pulsuri de attosecunde emise de două ori pe ciclu optic care, în domeniul spectral, se traduc printr-o serie de vârfuri spectrale egal distanțate, cu frecvențe multipli impari ai frecvenței laserului (ceea ce rezultă din proprietățile transformatei Fourier). Acest tip de emisie a fost observat de Anne L'Huillier și raportat în 1988 sub titlul "Multiple-harmonic conversion of 1064-nm radiation in rare-gases".

Așadar, nu pare a fi foarte complicat să descriem procesul de generare a HH. Cu toate acestea, este studiat chiar și astăzi și s-au scris tone de articole pe această temă. Acest lucru se datorează faptului că descrierea procesului este mult mai complicată atunci când dorim să descriem procesul macroscopic, adică experimentul "simplu" în care un fascicul laser luminează un mediu gazos. Acolo, variația parametrilor laserului și ai mediului va produce surse microscopice de pulsuri de attosecunde, dar cu intensități diferite, emisii diferite în timp și faze de emisie diferite. Combinarea acestor impulsuri prin interferență poate fi constructivă pentru a produce un semnal bun sau distructivă pentru a produce un semnal slab sau inexistent. Potrivirea fazelor s-a dovedit a fi un ingredient esențial pentru a obține o generare eficientă a HH.

De la descoperirea lor, HH au fost investigate într-o mare varietate de configurații experimentale: gaz în celule statice, jeturi de gaz, multijeturi, gaz pur (atomi sau molecule) sau gaze mixte. Sursele utilizate au

fost în principal lasere Ti:Sa cu o lungime de undă centrală de 800 nm, dar și mid-IR mergând până la 2000 nm (o lungime de undă mai mare înseamnă, de asemenea, o perioadă mai mare pentru ciclul optic, deci o energie cinetică mai mare dobândită de electron în excursia sa). Grupul lui Ferenc Krausz din cadrul Institutului Max Planck pentru Optică Cuantică din Garching este unul dintre principalii vectori în acest domeniu.

Modelarea computerizată a generării HH în aceste diferite configurații a fost principalul meu domeniu de cercetare începând cu 2001. Necesitatea modelării HH rezidă în nevoia experimenterilor de a-și explica datele și de a descoperi fizica din spatele lor. Am început să construiesc modelul la Universitatea din Napoli, în colaborare cu Corrado de Lisio și Carlo Altucci, doi foști doctoranzi ai lui Anne L'Huillier. Am dezvoltat mai multe versiuni ale modelului în acești peste 20 de ani și toate au fost folosite în colaborări cu alte grupuri de cercetare de vârf din întreaga lume: Japonia, Coreea de Sud, Germania, Ungaria, Suedia, Italia, SUA. Doar pentru a da un exemplu: una dintre liniile de generare a HH din ELI-ALPS a fost proiectată de grupul de la Lund folosind modelarea realizată în institutul nostru. De asemenea, am folosit modelarea pentru a propune noi experimente și a prezice rezultatele.

O versiune recentă a generării HH este în curs de dezvoltare la Politecnico di Milano și utilizează fibre cu miez gol umplute cu gaz ca mediu de generare. Pentru această configurație specială, am dezvoltat un model specific și îl folosim pentru a prezice configurația optimă pentru laserul de 2000 nm aflat în construcție. Acesta este subiectul proiectului H2020 X-PIC, în care institutul nostru este partener.

Cea de-a doua parte a motivației comitetului Nobel indică "studiul dinamicii electronilor în materie". Într-adevăr, premiul din acest an reprezintă o validare a maturității fizicii attosecunde, deoarece pulsurile de attosecunde sunt din ce în ce mai mult utilizate în studiul dinamicii electronice în gaz și în materia condensată. Fluxul de articole din domeniu se mută treptat de la cele dedicate optimizării generării HH la cele care găsesc noi metode de demonstrare a dinamicii electronice. Aplicații? Încă în curs de dezvoltare. Permiteți-mi să închei cu un citat de la Anne L'Huillier: "Va fi știința attosecunde utilă pentru societate? Răspunsul meu sincer este: nu știu, dar cred că da. Cercetarea în domeniul științei attosecunde a fost și este încă condusă de curiozitate. Laserele, de exemplu, nu au fost inventate pentru a rezolva o problemă. De fapt, Theodore Maiman l-a numit "o soluție care caută o problemă". Nu este nevoie să descriu aici impactul uriaș pe care laserele îl au în societatea noastră, de exemplu în medicină sau pentru comunicații. Pulsurile de attosecunde nu au fost inventate sau dezvoltate pentru a rezolva o problemă specifică, ci au fost descoperite din curiozitate. Viitorul ne va spune ce impact vor avea asupra societății."

În încheiere, doresc să subliniez faptul că premiul Nobel de anul acesta validează și alegerea mea personală, pe care am făcut-o în urmă cu 23 de ani, adică să intru în acest domeniu. Dar sunt destul de lipsit de modestie să spun că această alegere a fost validată între timp, pentru că această linie de cercetare a adus în institutul nostru un proiect FP7 și un proiect H2020, precum și un număr de 7 proiecte (din care 3 proiecte ELI-RO) câștigate în competiții naționale.

Dr. Valer Tosa