

# Zašto je otkriće ultrakratkih pulseva svjetlosti vrijedno Nobela?



Piše: Nenad Jarić Dauenhauer

16:49, 05. listopada 2023.



NOBEL za fiziku 2023. dodijeljen je u utorak Pierreu Agostiniju, Ferencu Krauszu i Anne L'Huillier za "eksperimentalne metode koje generiraju atosekundne pulseve svjetlosti za proučavanje dinamike elektrona u materiji", kako je to formulirao odbor za dodjelu nagrade.

Na prvi pogled, a ponajviše zbog složenosti tog područja fizike, laicima se može učiniti da je ovo otkriće skromnije po značaju od nekih drugih za koja su ranije dodijeljene Nobelove nagrade. Primjerice, za otkriće dugo traženog Higgsova bozona ili za otkriće gravitacijskih valova čije je postojanje još početkom 20. stoljeća predvidio Albert Einstein vjerujući pritom da nikada neće biti napravljen dovoljno precizan instrument koji bi ih mogao detektirati.

No otkriće atosekundnih pulseva ima velik znanstveni značaj i brojne moguće primjene.

Do sada su nam razni uređaji poput teleskopa omogućavali da otkrivamo stvari na vrlo velikim, kozmičkim dimenzijama, a razni mikroskopi na vrlo malim, molekularnim.

Otkriće atosekundnih pulseva omogućuje nam sasvim nove proboje u znanosti - promatranja događaja koji se zbivaju u izuzetno kratkim vremenskim intervalima.

## Otvaranje vrata svijeta elektrona

Dakle, ova tehnologija revolucionarna je jer omogućuje istraživanje procesa koji su toliko brzi da ih ranije nije bilo moguće pratiti.

"Sada možemo otvoriti vrata svijetu elektrona. Atosekundna fizika pruža nam priliku da razumijemo mehanizme koji upravljaju elektronima. Sljedeći korak bit će njihovo korištenje", komentirala je dodjelu nagrade Eva Olsson, predsjednica Nobelovog odbora za fiziku.

## Što je atosekundni puls?

Za početak nije naodmet pokušati predočiti teško predočivo - koliko je kratak atosekundni puls.

Atosekundni puls svjetlosti je puls koji traje samo  $10^{-18}$  sekundi, odnosno 0.000000000000000001 sekundi.

Za ilustraciju, vremenski interval od 1 atosekunde usporediv je s vremenom koje je potrebno elektronu da obiđe jezgru atoma. Elektron se oko jezgre kreće izuzetno brzo, a u tom mikrosvijetu atosekundni puls predstavlja nevjerojatno maleni trenutak, gotovo nepostojeći za uobičajena ljudska iskustva vremena.

Još jedna ilustracija: atosekunda je toliko kratka da ih u jednoj sekundi ima otprilike onoliko koliko je sekundi prošlo od nastanka svemira do danas.

## Za snimanje kretanja elektrona

Ova tehnologija stara je tek 20-ak godina, što znači da su njezine brojne primjene tek pred nama.

U medicini bi se atosekundni pulsevi lasera mogli koristiti za identifikaciju različitih molekula, što može biti korisno u medicinskoj dijagnostici. Primjerice, mogli bi se koristiti za otkrivanje određenih bolesti na temelju njihovih jedinstvenih molekularnih potpisa.

Atosekundni pulsevi mogli bi se koristiti za proučavanje dinamike elektrona na vrlo malim vremenskim skalama. To bi moglo imati široku primjenu u fizici, kemiji i biologiji. Primjerice, znanstvenici bi mogli napraviti 3D mape elektrona i snimiti filmove o njihovom kretanju puštanjem atosekundnih svjetlosnih pulseva kroz materijale. Kada taj puls interagira s elektronima unutar materijala, dolazi do njegove distorzije. Prateći ove distorzije, znanstvenici bi mogli stvarati 3D mape elektrona i snimati filmove o njihovom kretanju.

## Za dijagnosticiranje u medicini

**Doc. dr. sc. Damir Aumiler**, pročelnik Centra za napredne laserske tehnike Instituta za fiziku, kaže da nam atosekundni pulsevi omogućuju da pratimo što se s elektronima zbiva na vremenskoj skali pri kojoj se oni gibaju u atomima i molekulama.

"Možemo bljesak po bljesak atosekundne svjetlosti bilježiti slike elektrona i tako snimati filmove u kojima pratimo elektrone u realnom vremenu. Potencijalne primjene sežu od elektronike do medicine. Na primjer, atosekundni pulsevi mogu se koristiti za pobudu molekula, koje zatim emitiraju signal koji možemo mjeriti. Taj signal ima posebnu strukturu, neku vrstu molekulskog otiska prsta koji otkriva o kojoj se molekuli radi, a moguće primjene toga su u medicinskoj dijagnostici", tumači naš fizičar.

## Za mnogo moćnija računala

U računalnoj tehnologiji oni bi se mogli koristiti za manipuliranje kretanjima elektrona na atosekundnoj vremenskoj skali, što odgovara iznimno visokoj frekvencijskoj stopi petaherca. Takva manipulacija smatra se osnovom za razvoj fotoelektrične obrade informacija na petahercima što bi moglo rezultirati iznimno brzom obradom podataka. Danas postojeći računalni čipovi rade na skali nanosekundi, tj. gigahercima. Svjetlost koja oscilira frekvencijom petaherca mogla bi omogućiti rad na petahercima, što bi dovelo do povećanja brzine obrade podataka za oko milijun puta u odnosu na ono što je trenutno moguće s konvencionalnim računalima.

## Kako se stvaraju atosekundni pulsevi svjetlosti?

Ultrakratki bljeskovi svjetlosti, poznati kao atosekundni pulsevi, stvaraju se kroz proces koji se naziva generacija visokih harmonika, ili HHG.

## Kako to funkcionira?

Kako bi stvorili ultrakratke pulseve, znanstvenici propuštaju femtosekundne laserske pulseve (femtosekunda =  $10^{-15}$  sekundi) kroz plinove, uglavnom

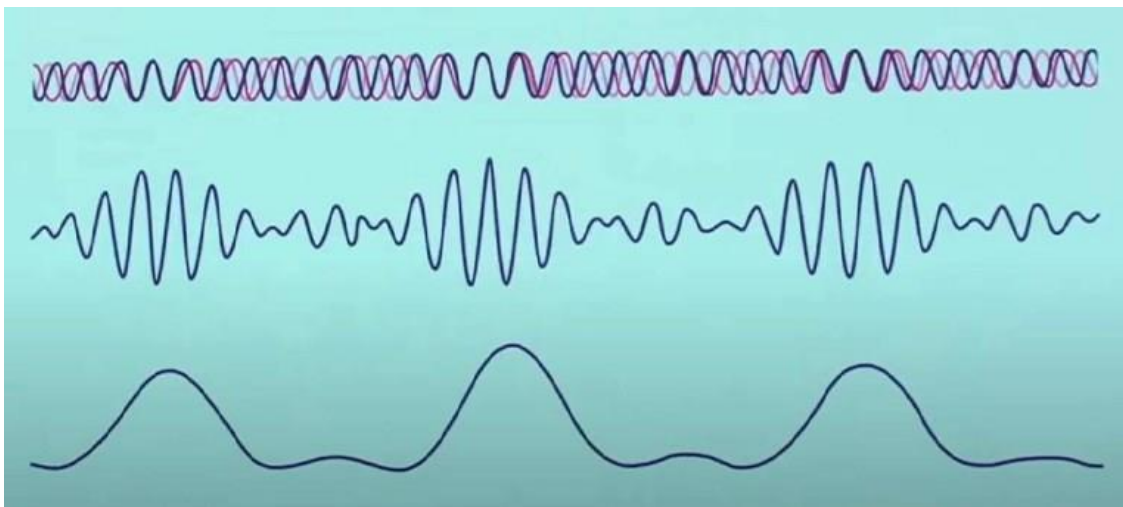
tzv. plemenite, odnosno inertne plinove koji su obično vrlo stabilni i rijetko ulaze u kemijske reakcije s drugim elementima.

Harmonici nastaju kada laserska svjetlost interagira s atomima plina, dajući nekim elektronima dodatnu energiju koju oni potom emitiraju kao svjetlost. Naime, elektroni se u atomima koji su dobili dodatnu energiju podižu na višu energetska orbitalu s koje potom padaju emitirajući, odnosno oslobađajući dobivenu energiju u obliku svjetlosti.

Pri tome je bitno da femtosekundni puls koji stvara harmonike bude što kraći (poželjno samo nekoliko oscilacija električnog polja) i što intenzivniji (kako bi se elektron lakše oslobodio od atoma i potom jače ubrzao poljem lasera).

Viši harmonici elektromagnetskih valova su pulsevi svjetlosti na frekvencijama koje su višekratnici osnovne frekvencije laserskog zračenja.

Kada potom navedemo elektromagnetske valove harmonika da se preklapaju i međusobno interferiraju, oni se ponegdje poništavaju (kad se sretnu vrh vala i dol), a ponegdje pojačavaju (kad se sretnu dva vrha) kao što se valovi koji se susreću na moru ponekad poništavaju, a ponekad pojačavaju. Na taj način nastaju pulsevi vrlo kratkog trajanja (slika dolje).



*Stvaranje ultrakratkih pulseva interferencijom*

Generirani harmonici konačno se mogu detektirati, analizirati i filtrirati. Tu se često koriste tehnike kao što su interferometrija i spektroskopija.

Odjek ovog otkrića bit će golem

Aumiler kaže da je već danas jasno da će odjek ovog otkrića biti izrazito velik.

"Isto se dogodilo prije 20-ak godina kada su femtosekundni pulsevi postali šire dostupni. Femtosekundna vremenska skala je skala gibanja molekula pa je posljedično primjena takvih pulseva, putem razumijevanja i kontrole kemijskih reakcija, dovela do revolucije u kemiji, biologiji i istraživanjima novih materijala. Nitko tada nije mogao ni pretpostaviti koliko će važnu primjenu femtosekundni laseri pronaći na primjer u oftalmologiji. Danas, s atosekundnim pulsevima, postaje nam dostupna vremenska skala gibanja elektrona, a kada u potpunosti razumijemo ponašanje elektrona u materijalima, slijedi i mogućnost njihove vremenske kontrole, što nas vodi u eru atoznanosti", tumači Aumiler.

Takva tehnologija postoji i u Zagrebu

Ističe da je u Centru za napredne laserske tehnike (CALT) na Institutu za fiziku u Zagrebu upravo pušteno u pogon nekoliko femtosekundnih laserskih sustava.

"Takvi laseri koriste se za generaciju viših harmonika i atosekundnih pulseva. Kontrola tih procesa tehnički je izrazito zahtjevna, budući da se radi o ekstremnoj ultraljubičastoj svjetlosti (XUV), i posljedično vrlo skupa. Trenutno su naša istraživanja usmjerena na femtosekundnu vremensku dinamiku, no atosekundni sustavi dostupni su našim istraživačima kroz suradnju s našim partnerima u Laserlab-Europe konzorciju, koji okuplja preko 30 vodećih laserskih laboratorija u Europi", kaže Aumiler.