

## **Inteligentne lasery: badania nad kontrolą zjawisk nieliniowych w światłowodach w celu generacji ultrakrótkich impulsów laserowych z wykorzystaniem uczenia maszynowego**

### **Streszczenie popularnonaukowe**

Naukowcy są zgodni, iż ultrakrótkie impulsy laserowe są obecnie najkrótszymi zdarzeniami, jakie może sztucznie wygenerować człowiek. Co rozumiemy przez pojęcie „ultrakrótki”? Przy obecnym stanie wiedzy i techniki, wygenerowanie impulsu o czasie trwania rzędu kilkudziesięciu femtosekund (fs) jest czymś wręcz codziennym i rutynowym (jedna femtosekunda to jedna biliardowa część sekundy, tj.  $1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ s}$ ).

Najkrótszy możliwy do uzyskania impuls światła odpowiada długości jednego pełnego cyklu fali świetlnej. Oznacza to, że np. dla fali o długości  $1,55 \mu\text{m}$  (typowa długość fali, na jakiej np. transmitowane są dane w sieciach telekomunikacyjnych), najkrótszy możliwy impuls może trwać 4,3 femtosekundy. Dokładnie tyle potrzebuje światło, aby przebyć drogę nieco ponad półtora mikrometra. Tak krótkie impulsy fascynują badaczy z niemal wszystkich dziedzin nauk ścisłych i technicznych. Pozwalają one nam na obserwację zdarzeń, które trwają tak krótko, albo są na tyle szybkie, że nie jesteśmy w stanie ich dostrzec w żaden inny sposób. Wykorzystywane są one jak migawka aparatu fotograficznego podczas wykonywania zdjęcia ruchomego obiektu – im krótszy czas otwarcia migawki, tym fotografowany obiekt jest mniej rozmyty. W profesjonalnych aparatach fotograficznych migawka na poziomie  $1/5000$  sekundy jest w zupełności wystarczająca do fotografowania np. biegacza podczas sprintu, czy szybkich samochodów podczas rajdu. Z kolei laser femtosekundowy zapewnia migawkę jeszcze niemal bilion razy krótszą niż aparat fotograficzny. Dzięki czemu, możemy „fotografować” najróżniejsze ultraszybkie procesy, jak specyficzne reakcje chemiczne, czy ruch elektronu wokół jądra atomowego. Przyczynia się to do poszerzenia naszej wiedzy na temat fundamentalnych zjawisk chemicznych i fizycznych, jak i opracowywania zupełnie nowych technik pomiarowych, technologii produkcyjnych, czy metod diagnostyki medycznej.

Niestety, lasery potrafiące wyemitować tak krótkie impulsy są zazwyczaj dość skomplikowanymi i drogimi układami laboratoryjnymi, całkowicie nieprzystosowanymi do tego, by używać ich poza sterylnymi warunkami laboratorium naukowego. Ponadto, w laserach femtosekundowych zachodzi mnóstwo przeróżnych zjawisk fizycznych, nie do końca jeszcze poznanych i zrozumianych. Zjawiska te często są nieliniowe (oznacza to, iż ich skutki nie są do końca przewidywalne). Manualne „dostrojenie” takiego lasera, aby rzeczywiście generował najkrótsze możliwe impulsy może być niezmiernie żmudnym i długotrwałym procesem. Użytkownicy takich laserów spędzają nad nimi długie godziny (a czasem nawet miesiące!) aby uszczknąć kolejną femtosekundę. W ramach niniejszego Projektu zbadamy narzędzia, które zaoszczędzą czas naukowcom i pomogą im nie martwić się o wydajność ich laserów: zamierzamy wykorzystać do tego sztuczną inteligencję, pod postacią tzw. uczenia maszynowego. Pod pojęciem uczenia maszynowego kryją się algorytmy, które potrafią same się ulepszać i poprawiać poprzez doświadczenie. Umieścimy w laserze specjalny element, tzw. programowalny filtr optyczny, za pomocą którego będziemy w stanie odpowiednio ukształtować parametry czasowe i spektralne impulsów. Jego sterowaniem zajmie się komputer i algorytm uczenia maszynowego. Na podstawie danych z przyrządu mierzącego czas trwania impulsu, algorytm sam nauczy się, jak zmiana parametrów programowalnego filtra wpływa na czas trwania impulsu, i znajdzie odpowiednie warunki, w których laser będzie generował najkrótsze możliwe impulsy.

Brzmi banalnie! Oczywiście, w praktyce cała sprawa nie jest taka prosta i wymaga kilku lat żmudnej pracy czteroosobowego zespołu badawczego. Najpierw musimy skonstruować odpowiednie układy laserów i zrozumieć wpływ poszczególnych zjawisk nieliniowych na parametry generowanych impulsów. Następnie zajmiemy się sztuczną inteligencją – zbadamy różne metody uczenia maszynowego i wybierzemy najbardziej odpowiednie. Sprawdzimy, czy można je zastosować w naszych laserach. Zbadamy kilka konfiguracji systemów laserowych: od całkiem prostych, bo bardziej skomplikowane, zawierające wzmacniacze i kompresory impulsów.

Ostatecznie, kiedy już osiągniemy impulsy o czasie trwania rzędu kilku cykli fali świetlnej, sami wykorzystamy je jako źródło do badań zjawisk nieliniowych występujących w kryształach optycznych. Istnieją takie specjalne kryształy, które mogą niejako „przekonwertować” impulsy w zupełnie inny zakres spektralny (np. z podczerwieni w światło widzialne, lub odwrotnie). Niniejszy projekt jest odpowiedzią na dwa główne zapotrzebowania biologów, chemików, elektroników i fizyków na całym świecie: stworzenia lasera emitującego ultrakrótkie impulsy w zakresie światła widzialnego (tj. około  $720 - 770 \text{ nm}$ ), oraz stworzenia źródła impulsów z drugiego końca spektrum elektromagnetycznego, czyli średniej podczerwieni ( $>3000 \text{ nm}$ ). To pierwsze stanowić będzie unikalne źródło do takich zastosowań jak np. szczególna forma mikroskopii – tzw. wielofotonowa mikroskopia fluorescencyjna. Technika ta pozwala na obrazowanie na przykład siatkówki oka, w celu zrozumienia procesu widzenia jak i wcześniej diagnostyki schorzeń. Natomiast drugi laser będzie istotnym elementem składowym systemów tzw. spektroskopii laserowej – czyli takich, które umożliwiają np. wykrywanie śladowych ilości związków chemicznych (molekuł, mieszanin gazów, np. związków toksycznych czy gazów cieplarnianych) w atmosferze.