

## **Technika dwugrzebieniowa jako narzędzie do badania dynamiki generacji impulsów laserowych**

**Uzasadnienie tematyki.** Odkrycie zjawiska solitonu w systemach hydrodynamicznych przez Johna Scotta Rusella w 1834 roku zapoczątkowało nowy rozdział w fizyce nieliniowej propagacji fal. Prawie dwa stulecia później, ta samopodtrzymująca się fala wywołana przez efekty nieliniowe propagująca ze stałą prędkością nie jest utożsamiana już tylko z falami mechanicznymi. Wręcz przeciwnie, stanowi ona podstawę generacji impulsów optycznych: solitony są efektem balansu pomiędzy efektami nieliniowymi i dyspersyjnymi we wnętrzu lasera, które umożliwiają impulsowi optycznemu podróżowanie na długich dystansach bez zmiany kształtu. Dzisiaj solitonowe lasery impulsowe znajdują zastosowanie w szerokiej gamie zastosowań, jak obrazowanie biomedyczne, obróbka materiału, spektroskopia optyczna i wiele innych.

Chociaż w laserze impulsowym oczekiwany jest czysty, pojedynczy impuls cyrkulujący w takim stanie w nieskończoność, niewielkie rozmiary optycznego falowodu oraz duże nieliniowości optyczne materiałów stanowiących wnękę często prowadzą do powstania stanów związanych solitonu, t.j. gdy soliton ulega rozpadowi i grupowaniu na mniejsze, związane ze sobą impulsy określane mianem cząsteczki solitonowej. Nazwa ta bierze się z podobieństwa takich struktur to cząstek chemicznych i sił oddziaływań pomiędzy impulsami (atomami). Dla inżynierów optoelektroników, którzy budują lasery impulsowe, taki stan jest niepożądany, ponieważ obniża moc szczytową, pogarsza stabilność i ogranicza możliwość przesunięcia widmowego. Z drugiej strony, bogata nieliniowa dynamika tworzenia i wzajemnych interakcji cząsteczek solitonowych mogą nam pomóc lepiej zrozumieć złożone zjawiska optyki nieliniowej. Ponadto, przyszłe optyczne pamięci lub systemy telekomunikacyjne mogą wykorzystywać związane impulsy aby kodować informację na większej liczbie bitów. To motywuje rozwój szybkich technik diagnostycznych laserów impulsowych celem charakteryzacji solitonów optycznych z dużą prędkością, wysokimi rozdzielczościami czasowymi i na różnych długościach fali. Osiągalna szybkość obrazowania powinna wypełniać niszę pomiędzy tymi działającymi w reżimie impulsu po impulsie (jak dyspersyjna transformacja Fouriera) z tymi, które dają obraz uśredniony w skali sekundowej jak autokorelacja optyczna lub analiza widma optycznego.

**Planowane badania.** Aby odpowiedzieć na potrzebę dwóch grup odbiorców: (1) inżynierów optoelektroników oraz (2) fizyków optyki nieliniowej, proponujemy rozwój dwóch technik obrazowania (diagnostyki) cząstek solitonowych, które bazują na parze laserów impulsowych z odstrojonymi częstotliwościami repetycji. Idea bazuje na technice dwugrzebieniowej, w której dwa asynchroniczne ciągi impulsów laserowych wzajemnie próbują się na fotodetektorze. Pierwsza proponowana technika, zwana korelacją wzajemną pól elektrycznych (EFC) w zamyśle ma być rozszerzona o interakcje między złożonymi molekułami cząsteczkowymi występującymi w multipleksowanych laserach dwugrzebieniowych, jak mikrorezonatory optyczne lub lasery dwugrzebieniowe ze współdzieloną wnęką. W ostatnich latach, cieszą się one dużym zainteresowaniem ze względu na duży potencjał do niestabilizowanej spektroskopii z optycznymi grzebieniami częstotliwości bez jakichkolwiek części ruchomych celem monitorowania składu atmosfery.

Druga technika, która mierzy optyczną wzajemną korelację intensywności (IXC) między impulsami, jest profilowana na potrzeby diagnostyki laserów i molekuł solitonowych poza konwencjonalnym limitem aliasingu optycznego. W przeciwieństwie do typowej techniki dwugrzebieniowej (EFC), absorpcja dwufotonowa w IXC pozwoli na pracę badanego i próbkującego lasera na różnych długościach fal. Dodatkowo, nieczułość na fazę optyczną znosi część wymagań względem wzajemnej stabilności częstotliwości, co z kolei umożliwia laserom pochodzącym z kompletnie różnych wnęk optycznych próbować się wzajemnie na fotodetektorze i obserwować profil intensywności rozciągniętego w czasie impulsu bezpośrednio na oscyloskopie. Zakres czasowy badanego przebiegu odpowiada pełnemu obiegowi wnęki. To z kolei znosi ograniczenia typowej diagnostyki lasera na bazie autokorelatorów o krótkim zakresie skanowania, optycznych analizatorów widma o zgrubej rozdzielczości oraz mikrofalowych analizatorów widma o ograniczonym paśmie.

**Spodziewane wyniki.** Oczekujemy, że rozwiniemy dwie techniki szybkiej diagnostyki laserów impulsowych, które pozwolą nam zrozumieć złożoną dynamikę solitonów w laserach korzystających z różnych mechanizmów synchronizacji modów. Analiza taka będzie możliwa dzięki badaniu profili czasowych impulsów mierzonych z kilohercową do megahercowej szybkością. Spodziewany się, że technika IXC umożliwi nam badania nad laserami pracującymi w wymagających regionach spektralnych w oparciu o dojrzałą technologię światłowodową w zakresie telekomunikacyjnym. Technika EFC, z kolei, powinna pozwolić Nam lepiej zrozumieć interakcje międzycząsteczkowe w molekułach solitonowych, które są bolączką optycznych grzebieni częstotliwości na potrzeby optycznej spektroskopii bez części ruchomych.