

Zjawiska nieliniowe w światłowodach wielomodowych – solitony wielomodowe i konwersja częstotliwości

Wynalezienie lasera uruchomiło lawinę odkryć, zastosowań i przyczyniło się do powstania nowych dziedzin badań. Jedną z takich dziedzin jest optyka nieliniowa, w ramach której bada się oddziaływanie światła o wysokiej intensywności z materią. Życie codzienne bez optyki nieliniowej byłoby pozbawione telekomunikacyjnych systemów światłowodowych, na których bazuje Internet. Zabrakłoby również zaawansowanych urządzeń diagnostycznych wykorzystywanych w medycynie, badaniach materiałowych, monitorowaniu zanieczyszczeń ... oraz zielonych wskaźników laserowych [1].

Zjawiska optyki nieliniowej zachodzą szczególnie efektywnie w światłowodach – włóknach szklanych o średnicy porównywalnej ze średnicą ludzkiego włosa. Światło ściśnięte na małej powierzchni ma dużą intensywność, co prowadzi do wzmocnienia zjawisk nieliniowych. Dodatkowo, światło w światłowodach może propagować na bardzo duże odległości, co zwiększa znaczenie efektów nieliniowych.

Większość badań nad zjawiskami nieliniowymi w światłowodach dotyczyła światłowodów jednomodowych. Światłowody jednomodowe, dzięki swojej konstrukcji, pozwalają na propagację tylko jednego modu dla danej częstotliwości światła (którą możemy wiązać z kolorem). Modem nazywamy sposób, w jaki światło wypełnia przestrzeń, przez którą przechodzi. Światłowody jednomodowe są wykorzystywane w sieciach światłowodowych do przesyłania informacji. Przepustowość sieci telekomunikacyjnych zwiokrotnia się, przesyłając informacje na różnych częstotliwościach (kolorach). W ostatnim czasie rozważa się także stosowanie w sieciach telekomunikacyjnych światłowodów wielomodowych. W takich światłowodach dla danej częstotliwości (koloru) istnieje wiele modów (rozkładów przestrzennych) prowadzonego światła. Przesyłanie informacji w różnych modach pozwoli na dalsze zwiokrotnienie przepustowości, choć będzie wymagało opracowania sposobów wysyłania, przekierowywania i odbierania informacji w wielu modach jednocześnie. **Duże nadzieje w pokonaniu tych wyzwań wiąże się z wykorzystaniem zjawisk optyki nieliniowej zachodzących w światłowodach wielomodowych, które będziemy badać w naszym projekcie.**

Wybraliśmy dwa ciekawe zjawiska, które doczekały się w ostatnim czasie demonstracji eksperymentalnej. Mianowicie, tworzenie i propagacja impulsu nazywanego **solitonem wielomodowym** oraz **międzymodowa konwersja częstotliwości**. Solitonem nazywamy impuls światła (ogólniej fali elektromagnetycznej), który propaguje się w niezmienniej postaci. Zwykle, dyspersja chromatyczna powoduje wydłużenie i zniekształcenie impulsu, które uniemożliwia odczytanie przesyłanej informacji (dyspersja chromatyczna to właściwość ośrodka, określająca różnice prędkości z jaką światło o różnych częstotliwościach przenosi energię). Dla impulsów o dużej intensywności efekty nieliniowe mogą równoważyć efekty dyspersyjne, co pozwala na propagację solitonów. Tworzenie się i propagowanie się solitonów było badane w światłowodach jednomodowych. Od niedawna bada się tworzenie się solitonów w światłowodach wielomodowych (solitonów wielomodowych), które jest procesem bardziej złożonym, ze względu na wzajemne oddziaływanie modów. W projekcie będziemy analizować możliwość kontrolowania tego zjawiska przez odpowiednie kształtowanie właściwości światłowodów.

Międzymodowa konwersja częstotliwości to zjawisko, w którym energia światła (fali elektromagnetycznej) o danej częstotliwości propagującego się w określonym modzie zostaje przeniesiona na inną częstotliwość do innego modu. Zjawisko to może potencjalnie znaleźć zastosowanie w elementach systemów telekomunikacyjnych, bazujących na wielomodowej transmisji danych.

Planowane badania pozwolą na poszerzenie wiedzy w zakresie światłowodowej optyki nieliniowej i wskażą drogę do możliwości kontrolowania zjawisk nieliniowych zachodzących w światłowodach wielomodowych. Sprawdzone zostanie w jakich warunkach mogą formować się, propagować się na długie dystanse oraz oddziaływać ze sobą solitony wielomodowe. Dodatkowo, określimy także warunki, w których może zachodzić międzymodowa konwersja częstotliwości. W ramach badań zaprojektujemy i wytworzymy krzemionkowe światłowody wielomodowe domieszkowane tlenkiem germanu. Następnie przebadamy wpływ ich specyficznych właściwości na zjawiska nieliniowe. Uzyskane wyniki dadzą możliwość odpowiedzi na pytania czy i w jaki sposób odpowiednie parametry włókien wpływają na obserwowane zjawiska.

Badania rozpoczniemy od przeprowadzenia symulacji komputerowych przebiegu zjawisk nieliniowych w celu zdefiniowania pożądanych właściwości światłowodów. Następnie, wykonując obliczenia numeryczne, zaprojektujemy światłowody wielomodowe o tych właściwościach oraz – dzięki opracowaniu odpowiednich technologii – wytworzymy je. Właściwości wytworzonych światłowodów zostaną zmierzone, a następnie przeprowadzimy eksperymenty dotyczące efektów nieliniowych. Przewidujemy, że uzyskane wyniki pokażą w jaki sposób i w jakim zakresie możemy kontrolować zjawiska nieliniowe w światłowodach wielomodowych.

[1] E. Garmire, "Nonlinear optics in daily life," Optics Express **21**(25): 30532 (2013).