

Głównym celem niniejszego projektu jest przebadanie zarówno teoretyczne jak i eksperymentalne rozchodzenia się strukturyzowanych wiązek światła w ośrodkach nieliniowych optycznie. Rozważana w niniejszym projekcie nieliniowość optyczna powoduje, że właściwości propagacyjne wiązki światła zależą od jej natężenia (gęstości mocy światła) i w rezultacie dochodzi do samoogniskowania lub samorozogniskowania wiązki światła (w zależności od rodzaju nieliniowości optycznej). W szczególności wiązka światła o odpowiednio dużym natężeniu może wytworzyć światłowód, w którym sama będzie się propagować. Powstała w ten sposób nieposzerzająca się wiązka światła (gdzie dyfrakcyjne poszerzenie jest kompensowane przez nieliniowe samoogniskowanie) nazywana jest przestrzennym solitonem optycznym. Co ciekawe, taki soliton optyczny może prowadzić w wytworzonym przez siebie światłowodzie też wiązki światła o innej długości fali i mocach za małych do obserwacji zjawisk nieliniowych.

Szczególnym typem ośrodków nieliniowych optycznie są ciekłe kryształy. Są to materiały posiadające cechy zarówno cieczy jak i ciał stałych: z jednej strony są płynne, z drugiej zaś zachowują dalekozasięgowe uporządkowanie, co powoduje, że obrót jednej molekuly pociąga za sobą obrót kolejnych. Dodatkowo, molekuly ciekłego kryształu obracają się pod wpływem światła, zaś taki obrót modyfikuje współczynnik załamania ośrodka „widziany” przez światło. Jest to podstawą bardzo silnej nieliniowości optycznej, której zasięg jest większy niż rozmiar wiązki światła (jest nielokalna) i która współzawodniczy między innymi z efektem termicznym. Solitony w ciekłych kryształach stały się obiektem intensywnych badań, głównie z uwagi na możliwość kontrolowania kierunku ich propagacji, co znajduje zastosowanie w całkowicie optycznych układach przełączających i przesyłających sygnał.

Typowo w zjawiskach nieliniowych jako źródła światła stosuje się wiązki gaussowskie (wytwarzane przez lasery i modyfikowane w standardowych układach optycznych), których kształt poprzeczny jest zbliżony do najprostszyc solitonów. Jednak w ostatnich latach zaczęto wytwarzać coraz więcej różnych wiązek światła o złożonym rozkładzie natężenia, fazy i polaryzacji. Wiązki takie, nazywane strukturyzowanymi, pozwalają na znacznie pełniejsze i różnorodne wykorzystanie właściwości fal elektromagnetycznych na potrzeby optyki i fotoniki. Przykładem wiązek strukturyzowanych są tzw. wiry optyczne, w których każdy punkt przekroju poprzecznego wiązki ma inną fazę. Znajdują one zastosowanie między innymi w mikroskopii czy manipulacji pojedynczymi cząsteczkami. Przykładem wiązek strukturyzowanych są również tzw. wiązki Airy’go, które rozchodzą się nie wzdłuż prostej ale po paraboli.

Interesującym zagadnieniem jest połączenie właściwości wiązek strukturyzowanych z nieliniowością optyczną. W szczególności można wytworzyć solitony wirowe a wiązki Airy’ego mogą indukować zakrzywione struktury prowadzące światło. Mimo, że pojawia się coraz więcej prac z tej tematyki, sposób w jaki wiązki strukturyzowane rozchodzą się i oddziałują z ośrodkiem nieliniowym wymaga dalszych badań. Dotyczy to w szczególności ośrodków z nietrywialnymi mechanizmami nieliniowości, w tym nieliniowości nielokalnych, współzawodniczących czy w ośrodkach anizotropowych. Dlatego w ramach niniejszego projektu zostanie gruntownie przeanalizowany wpływ tego typu nieliniowości na propagację wiązek strukturyzowanych. Z drugiej strony planowane jest zaprojektowanie kształtu i rozkładu natężenia, polaryzacji i fazy wiązek tak, aby jak najlepiej były dopasowane do takiego ośrodka nieliniowego. Umożliwi to wydajne wytwarzanie w eksperymencie solitonów przestrzennych o złożonych kształtach i badanie oddziaływań pomiędzy nimi.

Formowanie takich wiązek wymaga złożonych elementów optycznych, w szczególności na potrzeby optyki nieliniowej, w której wiązki światła mają duże natężenia. Dlatego do badań eksperymentalnych w niniejszym projekcie wykorzystana zostanie nowatorska technologia światłowodowa wytwarzania wiązek strukturalnych. Jako ośrodek nieliniowy w badaniach eksperymentalnych wykorzystane zostaną nematyczne ciekłe kryształy, z uwagi na ich właściwości nieliniowe, dużą przejrzystość widmową, wysoką nielokalność, dwójłomność, anizotropię i możliwość łatwej modyfikacji struktury. W analizie teoretycznej i projektowaniu struktur wykorzystane zostaną zarówno algorytmy numeryczne jak i przybliżone metody analityczne.