

Spektroskopia jest podstawowym narzędziem badania struktury materii i jej oddziaływania z promieniowaniem. Wśród wielu dostępnych technik spektroskopowych metody wykorzystujące wzmocnienie w obszarze optycznej należą do najbardziej czułych, ze względu na bardzo długą drogę optyczną oddziaływania promieniowania z układem kwantowym w obszarze. Z tego względu metody te stały się w tym narzędziem w badaniach podstawowych z dziedziny fizyki atomowej i molekularnej oraz optyki kwantowej.

Celem projektu jest rozwój nowej metody spektroskopowej opartej wyłącznie na pomiarze czystości. W przeciwieństwie do wszystkich absorpcyjnych metod spektroskopii optycznej, w których mamy do czynienia z czystością fali świetlnej i o współczynniku absorpcji wyznaczanym z pomiaru natężenia promieniowania, proponowana metoda spektroskopii dyspersyjnej modów w sieci jest jednowymiarowa – obydwa osie widma są tworzone z tych samych czystości modów elektro-magnetycznych w sieci optycznej. Jest to ogromna zaleta, gdy czystość jest wielkością fizyczną, którą można zmierzyć z dokładnością względnie nawet 10^{-17} , co jest daleko poza zasięgiem wszystkich metod pomiaru natężenia światła. Biorąc pod uwagę tę zaletę nowa metoda może stać się przyszłym standardem ultra-dokładnej spektroskopii i narzędziem dostarczającym referencyjnych danych dotyczących czystości i natężenia linii do testowania fundamentalnych oddziaływań materii i poszukiwania fizyki poza modelem standardowym. Takie dane referencyjne są również kluczowe do testowania metod *ab initio* obliczania widm oraz do najbardziej wymagających zastosowań w badaniach atmosfery i metrologii gazu. Planujemy wykorzystać ogromny potencjał precyzji i dokładności tej metody wynikający z dobrze rozwiniętej metrologii czystości. Ponadto planujemy rozwijać spektroskopii zespolonego współczynnika załamania, która jest dobrze znaną absorpcyjną techniką spektroskopii strat w obszarze z nową metodą spektroskopii dyspersyjnej. W spektroskopii strat w obszarze informacji o współczynniku absorpcji o rodka otrzymuje się z pomiaru czasu zaniku promieniowania z sieci po wyłączeniu lasera pomiarowego danego modu w sieci. Eksponencjalny zanik promieniowania, wynikający z prawa Lamberta-Beera, pozwala wyznaczyć współczynnik absorpcji o rodka z odwrotnością stałej zaniku. Metoda ta stała się bardzo atrakcyjna ze względu na niewrażliwość na fluktuacje mocy lasera próbkującego, wynikające z pomiaru czasu, a nie amplitudy zaniku promieniowania, jednak dla uzyskania wysokiej dokładności metoda ta wymaga doskonale liniowego detektora światła. Badanie widm zespolonych daje unikalną możliwość weryfikacji zgodności między widmem absorpcyjnym i dyspersyjnym i eliminacji potencjalnych systematycznych błędów w danych eksperymentalnych. Dlatego metoda ta zostanie wykorzystana do badania widm czystości szczególnie istotnych w fizyce atmosfery oraz do testowania teorii kształtu linii widmowych.

Dokładne pomiary rezonansowej dyspersji związanej ze słabym przejściem molekularnym w ośrodku gazowym wymaga bardzo wysokiej rozdzielczości spektralnej. Pomiar czystości rezonansowej modów elektro-magnetycznych TEM w sieci optycznej o wysokiej dobroci może dostarczyć wyjątkowo dokładnej informacji o widmie dyspersyjnym gazu wewnątrz w sieci. Metoda ta wymaga jednak użycia lasera o ultra-wężkiej szerokości emisji oraz eliminacji dryfu i szumu akustycznego w sieci. Obydwa te wymagania można spełnić poprzez dowiezienie fazy lasera do modu w sieci i izolację w sieci od otoczenia za pomocą odpowiednio zaprojektowanej komory próżniowej oraz stabilizację długości drogi optycznej w sieci do optycznego wzorca czystości. System taki ze wzorcem czystości dowiezionym do wzorca czystości UTC-AOS lub strontowego zegara optycznego (projekt POZA) dostępnych w laboratorium KL FAMO w Toruniu pozwoli na pomiary przesuniętych dyspersyjnie modów w sieci z sub-herców dokładności.

Porównanie absorpcyjnego i dyspersyjnego kształtu linii widmowej w przypadku liniowej absorpcji może być dokonane za pomocą wzorów Kramersa-Kroniga. Zespolona funkcja kształtu linii będzie wykorzystana do weryfikacji zgodności widm absorpcyjnego z dyspersyjnym. Badaniom do wiadczalnym będzie towarzyszył rozwój algorytmów analizy danych. W szczególności opracowane będzie oprogramowanie do dopasowywania zespolonych profili linii widmowych. Na przykładzie widm absorpcyjnych pokazano, że jednoczesne dopasowywanie widm odpowiadających różnym warunkom fizycznym (ciężkość, temperatura) pozwala efektywnie badać optyczne efekty zderzeniowe oraz efekty zależne od prędkości czystości wpływające na widma molekularne.

Kilka grup badawczych zademonstrowało ostatnio widma absorpcyjne z bardzo wysokim stosunkiem sygnału do szumu, podkreślając ich zastosowania w badaniach podstawowych i w metrologii, jednak nieliniowość pomiaru absorpcji była dominującym źródłem systematycznych błędów w tych widmach. Potrafimy obecnie mierzyć czystości linii widmowych atomów lub czystości z ogromną dokładnością, nawet ze względu na niepewność poniżej 10^{-17} , jednak uzyskanie zgodności natężenia linii z dwóch laboratoriów z dokładnością względnie poniżej 10^{-3} jest już ogromnym wyzwaniem. Rozwój proponowanej spektroskopii opartej wyłącznie na pomiarze czystości ma szansę zmienić ten stan poprzez wzrost dokładności pomiarów i dowiezienie ich do najdokładniejszego wzorca wielkości fizycznej – wzorca czystości. Jest to kluczowe dla wiarygodności referencyjnych danych laboratoryjnych dla międzynarodowej społeczności naukowej. Najnowsze obliczenia *ab initio* np. natężenia molekularnych linii widmowych osiągnęły dokładność na poziomie 10^{-3} . Ich do wiadczalna weryfikacja, a więc i dalszy postęp tych metod, napotyka trudności z powodu braku zgodności wyników do wiadczalnych z różnymi laboratoriami. Dokładność pomiaru profilu linii widmowej jest to szczególnie istotna w takich zastosowaniach metrologicznych jak termometria dopplerowska i optyczna metoda wyznaczania stałej Boltzmanna, czy optyczna metrologia koncentracji gazu, np. higrometria. Spektroskopia bazująca wyłącznie na pomiarze czystości również w tych zastosowaniach będzie bardzo atrakcyjna. Testy nowej metody będą prowadzone na widmach czystości CO i CO₂ o dużym znaczeniu m. in. w badaniach atmosfery oraz zmian klimatycznych, w zakresie widmowym 1.5 – 1.65 μm , a więc jednocześnie z rozwojem nowych metod spektroskopii spodziewamy się zanalizować wpływ efektów fizycznych na linie widmowe w tych układach i dostarczyć najbardziej precyzyjnych danych referencyjnych dotyczących natężenia, czystości przejścia i parametrów kształtu linii.