

Spektroskopia jest potężnym narzędziem umożliwiającym głęboki wgląd w fizykę mikroświata. Precyzyjne badania struktury cząsteczek oraz podstawowych oddziaływań molekularnych odgrywają ważną rolę w wielu zastosowaniach. Badania atmosferyczne, takie jak wyznaczanie wysokości wierzchołków chmur czy stężenia gazów cieplarnianych w dużym stopniu opierają się na danych spektroskopowych. W badaniach klinicznych podwyższone stężenie niektórych cząsteczek – biomarkerów jak np. tlenek węgla, etan, czy aceton – w ludzkim oddechu jest objawem różnych chorób, takich jak astma, cukrzyca lub zapalenie nerek. W astrofizyce znajomość składu atmosfer egzoplanet, a także identyfikacja obszarów formowania się gwiazd, także wymaga precyzyjnych danych spektroskopowych. W sektorze przemysłowym niezwykle istotne jest monitorowanie zanieczyszczeń pochodzących z zakładów produkcyjnych, a także wyznaczanie koncentracji pary wodnej, zwłaszcza w przypadku produkcji układów półprzewodnikowych. W telekomunikacji molekularne linie widmowe często stosowane są jako wzorce długości fali w łączach światłowodowych. W przypadku badań podstawowych precyzyjna spektroskopia jest wykorzystywana do wyznaczania wartości stałych fizycznych oraz do oceny, czy ulegają one zmianom w czasie, jak postulują niektóre teorie na temat ewolucji wszechświata. Spektroskopia znajduje także zastosowanie w metrologii, gdzie wybrane linie widmowe służą definiowaniu i realizacji wzorców wielkości fizycznych, np. sekundy i metra. Do osiągnięcia wszystkich tych celów wymagane jest użycie precyzyjnych spektrometrów jak i właściwych technik analizy danych.

W ramach niniejszego projektu wykorzystane zostaną najnowsze osiągnięcia w dziedzinie spektroskopii laserowej, która w ciągu ostatnich lat doświadczyła ogromnego wzrostu w odniesieniu do takich parametrów jak czułość, rozdzielczość spektralna i stabilność osi częstotliwości, w celu umożliwienia wyznaczenia z niezwykłą, lepszą niż 1 kHz, dokładnością i precyzją częstotliwości słabych linii widmowych cząsteczek O_2 , CO , CO_2 , i H_2 . W eksperymencie zostanie wykorzystana technika spektroskopii nasyceniowej, która jest w stanie dostarczyć najlepszych danych dotyczących położenia linii widmowych. W projekcie planowane jest połączenie jej z technikami wykorzystującymi wnęki optyczne, charakteryzującymi się bardzo wysoką czułością, i znaczące zwiększenie ich możliwości pomiarowych. Oś częstotliwości spektrometru zostanie dowiązana do optycznego zegara atomowego, który obecnie jako jedyny pozwala osiągnąć stabilność częstotliwości na poziomie 10^{-18} . Wykorzystane zostaną trzy ultraczułe techniki spektroskopowe umożliwiające pomiar zarówno widma absorpcyjnego jak i dyspersyjnego. Pozwoli to wyeliminować błędy aparaturowe obecne we wszystkich tych technikach i zwiększyć możliwości metrologiczne spektrometru. W ramach projektu zostanie opracowany nowy model kształtu linii dipów nasyceniowych, który jest niezbędny w celu wyznaczenia położenia linii widmowych z rzadko osiąganymi niepewnościami poniżej 1 kHz. Model ten będzie zdecydowanie wykraczał poza powszechnie używany profil Lorentza m.in. dzięki uwzględnieniu zależnych od prędkości absorbera efektów zderzeniowych.

Wyniki projektu umożliwią porównanie teorii i eksperymentu na niespotykanym dotychczas poziomie. Testy elektrodynamiki kwantowej dla cząsteczek na nieosiągalnym dotąd poziomie dokładności będą miały bezpośredni wkład w rozwój nauki. Precyzyjne i dokładne pomiary spektroskopowe mogą przyczynić się do rozwiązania takich zagadnień kwantowomechanicznych jak poszukiwanie nowej fizyki poza Modelem Standardowym czy badanie zmienności stałych fizycznych w czasie. Cząsteczki, których linie widmowe będą zmierzone w ramach projektu, odgrywają kluczową rolę w badaniach atmosferycznych, klinicznych, środowiskowych i astrofizycznych, zatem wyniki projektu mogą mieć wpływ na te dziedziny. Lista położenia linii widmowych wygenerowana w ramach projektu zostanie dołączona do najpopularniejszych spektroskopowych baz danych, dzięki czemu wyniki projektu będą dostępne dla szerokiej społeczności naukowej.