

Dyspersyjna spektroskopia molekularna we wnękach optycznych

D. Lisak

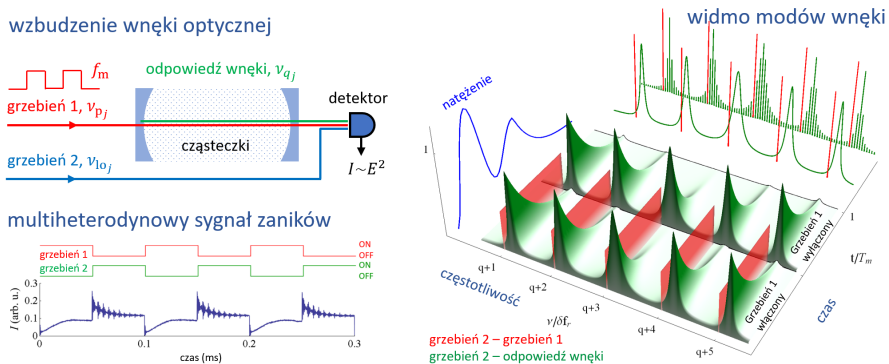
*Institut Fizyki,
Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej,
Uniwersytet Mikołaja Kopernika,
ul. Grudziądzka 5/7, 87-100 Toruń
e-mail: dlisak@umk.pl*

W trakcie wykładu opowiem o nowych metodach spektroskopii we wnękach optycznych, które rozwijamy na UMK w Toruniu i ich zastosowaniach. Wnęka optyczna pozwala nie tylko na zwiększenie czułości pomiaru absorpcji, ale też na pomiar dyspersji, co umożliwia dowiązanie obydwu osi widma do atomowego wzorca częstotliwości. Spektroskopia dyspersyjna modów wnęki (*cavity mode dispersion spectroscopy*, CMDS) [1] wykorzystuje pomiar przesunięcia częstotliwości modów wnęki optycznej, powodowanego przez rezonansową dyspersję ośrodka gazowego wewnątrz wnęki, powiązaną relacjami Kramersa-Kroniga z liniami absorpcyjnymi. Dzięki dowiązaniu fazowemu lasera do modu eliminowany jest wpływ szumów częstotliwości, a pomiar widma cechuje się wysokim zakresem dynamicznym [2]. Widmo molekularne wyznaczane jest nie z pomiaru natężenia światła, lecz jego częstotliwości, co eliminuje systematyczne błędy charakterystyczne dla pomiarów absorpcyjnych i ułatwia kalibrację spektrometru. Stosując CMDS zademonstrowaliśmy pierwsze pomiary natężeń molekularnych linii widmowych z sub-promilową dokładnością [3]. Uzyskana zgodność pomiarów między trzema grupami doświadczalnymi i obliczeniami teoretycznymi dla cząsteczki CO otwiera nowe możliwości w badaniach atmosfery Ziemi i innych planet. W szczególności pomiary satelitarne źródeł i dynamiki emisji gazów cieplarnianych w atmosferze wymagają bardzo dokładnych danych referencyjnych. CMDS pozwala też zwiększyć zakres dynamiczny bezdopplerowskiej spektroskopii nasyceniowej [4], ze względu na niewrażliwość dopplerowskiego podkładu dipu Lamba na nasycenie absorpcji.

Spektroskopia strat we wnęcie (*cavity ring-down spectroscopy*, CRDS) pozwala na dokładny i wysokorozdzielczy pomiar słabych absorpcyjnych linii widmowych. Za pomocą CRDS z dowiązaniem do atomowego wzorca częstotliwości UTC(AOS) uzyskaliśmy m.in. najdokładniejsze porównanie częstotliwości słabego przejścia kwadrupolowego w cząsteczce deuteru z obliczeniami elektrodynamiki kwantowej [5]. Uzyskanie dokładnych położenia linii wymaga wiernego odwzorowania kształtu badanych widm molekularnych i opracowania modelu zderzeniowych efektów kształtu linii widmowej.

Prace nad połączeniem zalet CRDS i CMDS doprowadziły do nowej metody *cavity buildup dispersion spectroscopy*, CBDS [6], bazującej na detekcji odpowiedzi wnęki na szybkie włączenie lasera i cechującej się szybkością pomiaru potencjalnie

wyższą niż CRDS, przy jednoczesnym pomiarze absorpcji i dyspersji. Rozwinięciem tej idei jest równoległy pomiar odpowiedzi wnęki na jednoczesne wzbudzenie wielu modów grzebieniem częstotliwości optycznych. Szerokopasmowy jednoczesny pomiar absorpcji i dyspersji jest tu możliwy poprzez zdudnienie odpowiedzi wnęki z drugim grzebieniem o odstrojonej częstości repetycji (*dual-comb cavity ring-down spectroscopy*, DC-CRDS) [7]. Schemat ten (Rysunek 1) umożliwił pierwszą demonstrację równoległego CRDS o rozdzielczości limitowanej tylko szerokością modów wnęki i pozwalającym na jednoczesny pomiar widma absorpcji i dyspersji.



Rysunek 1: Idea spektroskopii *dual-comb cavity ring-down* (DC-CRDS). Szczegóły w Ref. [7]

Bibliografia

- [1] Cygan A., Wcisło P., Wójtewicz S., Masłowski P., Hodges J. T., Ciuryło R., Lisak D., *Opt. Express* 23, 14472 (2015).
- [2] Cygan A., Wcisło P., Wójtewicz S., Kowzan G., Zaborowski M., Charczun D., Bielska K., Trawiński R. S., Ciuryło R., Masłowski P., Lisak D., *Opt. Express* 27, 21810 (2019).
- [3] Bielska K., Kyuberis A. A., Reed Z. D., Li G., Cygan A., Ciuryło R., Adkins E. M., Lodi L., Zobov N. F., Ebert V., Lisak D., Hodges J. T., Tennyson J., Polyansky O. L., *Phys. Rev. Lett.* 129, 043002 (2022).
- [4] Bielska K., Cygan A., Konefał M., Kowzan G., Zaborowski M., Charczun D., Wójtewicz S., Wcisło P., Masłowski P., Ciuryło R., Lisak D., *Opt. Express* 29, 39449 (2021).
- [5] Zaborowski M., Słowiński M., Stankiewicz K., Thibault F., Cygan A., Józwiak H., Kowzan G., Masłowski P., Nishiyama A., Stolarczyk N., Wójtewicz S., Ciuryło R., Lisak D., Wcisło P., *Opt. Lett.* 45, 1603 (2020).
- [6] Cygan A., Fleisher A. J., Ciuryło R., Gillis K. A., Hodges J. T., Lisak D., *Communic. Phys.* 4, 14 (2021).
- [7] Lisak D., Charczun D., Nishiyama A., Voumard T., Wildi T., Kowzan G., Brasch V., Herr T., Fleisher A. J., Hodges J. T., Ciuryło R., Cygan A., Masłowski P., *Sci. Rep.* 12, 2377 (2022).