



dr hab. Roman Ciuryło
Instytut Fizyki
Uniwersytet Mikołaja Kopernika

**Ocena dorobku naukowego i jednotematycznego cyklu publikacji dra Michała Nikodema pt. :
„Laserowa spektroskopia molekularna z wykorzystaniem zjawiska dyspersji w pobliżu linii
absorbpcyjnych i jej zastosowania do detekcji śladowych stężeń gazów”**

Dr Michał Nikodem przedłożył do oceny jednotematyczny cykl publikacji stanowiący podstawę ubiegania się o stopień doktora habilitowanego. W skład cyklu wchodzi 11 oryginalnych prac opublikowanych w szeregu recenzowanych czasopism: Optics Express – 3 prace, Applied Physics B – 2 prace, Optics Letters – 2 prace, Sensors – 2 prace, Optical Engineering – 1 praca, IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics – 1 praca. Na podkreślenie zasługuje fakt, iż w tym doświadczalnym cyklu publikacji dr Michał Nikodem jest jedynym autorem trzech publikacji [5,8,10] (dwie prace w Optics Express i jedna w Optical Engineering). Ponadto kolejne trzy prace [3,4,11] (prace w Optics Letters, Sensors, IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics) są dwuautorskie wraz z profesorem Gerardem Wysockim. Jedynie w pracy [7] wymienionego cyklu jedenastu artykułów jest drugim współautorem, natomiast we wszystkich pozostałych pracach wieloautorskich jest na czele listy autorów. W przedłożonych pracach rola habilitanta była wiodąca i polegała zarówno na proponowaniu nowych pomysłów, rozwiązywaniu konkretnych problemów, planowaniu eksperymentów jak i na budowie układów eksperymentalnych, wykonywaniu pomiarów i analizie danych doświadczalnych.

Spektroskopia zazwyczaj kojarzona jest z pomiarem widm absorbpcyjnych. Jako taka odniosła ogromne sukcesy w dużej mierze kształtując nasze nowoczesne postrzeganie fizycznego świata kładąc podwaliny pod jego kwantowy i relatywistyczny opis. Jednak podobne informacje można uzyskać analizując dyspersję. Na przestrzeni lat opracowano szereg metod pomiaru rezonansów w widmie dyspersji gazów poczynając od najbardziej podstawowej spektroskopii z modulacją częstotliwości, poprzez obecnie najczulszą NICE-OHMS, szerokopasmowe metody wykorzystujące grzebienie częstotliwości optycznych po dyspersyjną spektroskopie rezonansów wewnątrz optycznej gdzie widmo otrzymuje się tylko z pomiarów częstotliwości. Te nowe techniki pozwalają ominąć problemy z nieliniowością pomiaru natężenia światła oraz związać widma dyspersyjne bezpośrednio z definicją sekundy. W połączeniu z uzyskiwaniem wyższy stosunków sygnału do szumu w przypadku pomiarów dyspersyjnych niż w przypadku pomiarów absorbpcyjnych można oczekiwać w wielu gałęziach spektroskopii zwrotu ku dyspersji. Jedną z relatywnie nowych technik dyspersyjnych mających zastosowania w pomiarach w warunkach atmosferycznych jest zaproponowana przez



Wysockiego i Weidmann dyspersyjna spektroskopia z przemiatającym częstotliwości laserem CLaDS (chirped laser dispersion spectroscopy). Jeszcze w tym samym roku gdy przedstawiona została CLaDS dr Michał Nikodem odbywając staż na Princeton University z powodzeniem rozpoczął prace mające na celu zbadanie podstawowych własności oraz udoskonalenie tej nowej metody. Efektem tych prac było rozwiązanie szeregu problemów oraz zaproponowanie i demonstracja nowych efektywnych wariantów tego podejścia.

W pierwszej pracy cyklu [1] habilitant zaplanował i konsekwentnie przeprowadził wraz z współpracownikami badania zmierzające do znalezienia optymalnych warunków pomiaru pod względem uzyskiwanego stosunku sygnału do szumu. Chciałbym wyróżnić tu dwa istotne osiągnięcia. Pierwszym była minimalizacja wpływu niechcianych interferencji na kształt rejestrowanego widma poprzez termicznie indukowaną zmianę obrazu interferencyjnego i jego uśrednianie w czasie. Drugim było znalezienie optymalnej prędkości przemiatań częstotliwości lasera. Konsekwencją tych badań było opracowanie nowej techniki [2], w której częstość laser jest sinusoidalnie modulowana a sygnał wynikowy otrzymywany w wyniku demodulacji na wybranej częstotliwości harmonicznej. Zaproponowanie w pracy [2] nowej metody CM-CLaDS (chirp modulation - CLaDS) stanowi jedno z najważniejszych osiągnięć przedłożonej habilitacji. Był to bez wątpienia również sukces techniczny gdyż metoda ta została opatentowana a licencja sprzedana firmie Tiger Optics. Kolejna praca [3] demonstruje jedną z istotnych przewag spektroskopii dyspersyjnej nad absorpcyjną czyli liniową zależność sygnału od współczynnika absorpcji. Dzięki temu habilitant mógł oszacować możliwy do osiągnięcia zakres dynamiczny metody CM-CLaDS na 5 rzędów wielkości, pokazując wyniki wykonanych pomiarów w zakresie 3 rzędów wielkości. Zastosowanie opracowanej metody CM-CLaDS do badań gazów atmosferycznych zostało przedstawione w pracy [4]. Głównym obiektem badań była jedna z cząsteczek odpowiedzialnych za efekt cieplarniany N_2O . Kalibracja detektora w laboratorium umożliwiła potem obserwacje zmian stężenia tego gazu na wolnym powietrzu i obserwację procesów indukowanych pogodowo, na przykład deszczem, w warunkach naturalnych. Jest to jedna z najczęściej cytowanych prac habilitanta.

W kolejnych pracach dr Michał Nikodem zastępuje akustooptyczny modulator modulatorem elektrooptycznym. I tu w dokumentacji habilitacyjnej można znaleźć pewną niekonsekwencję, która jednak nie umniejsza w żadnym razie jakości naukowej otrzymanych wyników. W załączniku 4 zatytułowanym „Cykl publikacji” znajdujemy pracę: M. Nikodem, G. Plant, Z. Wang, P. Prucnal, G. Wysocki, „Chirped lasers dispersion spectroscopy implemented with single- and dual-sideband electro-optical modulators”, *Opt. Express* **21**, 14649 (2013), której jednak nie ma wymienionej wśród jedenastu prac stanowiących cykl habilitacyjny w załączniku 2 „Autorferat”. Mimo, że ta praca nie stanowi formalnie elementu cyklu habilitacyjnego warto nadmienić, że to właśnie w niej habilitant wraz ze współpracownikami postanawia użyć modulatora Macha-Zehndera by uzyskać częstości modulacji umożliwiające maksymalizację sygnałów obserwowanych w warunkach atmosferycznych. W pracy [5] dr Michał Nikodem przebadał dość wnikliwie własności obserwowanych sygnałów w zależności od sterowania modulatora Macha-Zehndera i schematu demodulacji. Zdobyta wiedza i doświadczenie pomogły w budowie detektora metanu pracującego w

bliskiej podczerwieni około 1.65 μm wykorzystującego podzespoły telekomunikacyjne [6]. Detektor ten przeznaczony jest do pracy w terenie w warunkach atmosferycznych i charakteryzuje się minimalnym limitem detekcji metanu 1.3 ppmv $\text{m}/\text{Hz}^{1/2}$. Demonstracja użycia nowego układu pomiarowego w warunkach polowych została opisana w pracy [7]. Pokazane zostało, iż system umożliwiał pomiar zmian stężenia metanu na poziomie pojedynczych ppm-ów w czasie wielodniowych obserwacji bez konieczności cyklicznej kalibracji. Kolejny detektor zaprojektowany i zbudowany przez dr Michała Nikodema to detektor siarkowodoru opisany w pracy [8]. Podobnie jak w poprzednich przypadkach został zaprojektowany z myślą o użyciu go w otwartej przestrzeni w celu badania stężenia siarkowodoru w atmosferze.

Najsilniejsze pasma oscylacyjno-rotacyjne szeregu cząsteczek ważnych z punktu widzenia badań atmosferycznych leżą w zakresie długości fal powyżej 3 μm . Generacja jak również przetwarzanie takiego promieniowania następuje z pewnymi trudnościami. W celu budowy detektora optycznego w tym zakresie wykorzystać można różnicę częstotliwości na przykład promieniowania o długości około 1 μm i 1.5 μm . Właśnie w ten sposób do problemu podszedł dr Michał Nikodem w współpracy z grupą profesora Krzysztofa Abramskiego. W pracy [9] opisany został detektor wykorzystujący linie metanu około 3.4 μm . Zwiększenie długości fali wykorzystywanej w detekcji pozwoliło autorowi na dziesięciokrotne zwiększenie czułości zbudowanego systemu w porównaniu z układem pracującym w bliskiej podczerwieni.

Z praktycznego punktu widzenia ważne jest uproszczenie układu eksperymentalnego. W pracy [10] dr Michał Nikodem pokazał jak sprytnie można obniżyć częstotliwość sygnału z detektora optycznego, który następnie zostaje poddany demodulacji. To pozwala na wykorzystanie znacznie tańszych i prostszych układów elektronicznych pracujących w zakresie radiowym.

W ostatniej pracy [11] cyklu habilitant wraz z profesorem Gerardem Wysockim zademonstrowali nową metodę pomiaru różnicowego. W tym podejściu mierzona jest różnica dyspersji występujących w dwóch torach optycznych. Prowadzi to do bezpośredniego pomiaru różnicy stężeń w obu próbkach. Metoda została zademonstrowana na przykładzie podtlenku azotu z wykorzystaniem lasera kaskadowego do generacji promieniowania o długości 4.5 μm .

Z pełnym przekonaniem stwierdzam, iż przedstawione w ocenianym cyklu publikacji opracowanie nowej metody CM-CLaDS pomiaru dyspersji oraz jej wykorzystanie do detekcji szeregu gazów w warunkach polowych stanowi istotne oryginalne osiągnięcie upoważniające otrzymanie stopnia doktora habilitowanego.

Zgodnie z załączoną dokumentacją dorobek dr. Michała Nikodema obejmuje w sumie 3 patenty i 27 publikacji. Przed doktoratem powstały 4 publikacje oraz 23 publikacje po doktoracie z czego 11 prac obejmuje cykl habilitacyjny a 12 prac stanowi pozostały dorobek. Na podkreślenie zasługuje to, że habilitant był pierwszym autorem wszystkich prac opublikowanych przed uzyskaniem stopnia doktora oraz 4 z dwunastu stanowiących pozostały dorobek po doktoracie. Pokazuje to, że od samego początku swej naukowej kariery przejawiał ponad przeciętną inicjatywę i pomysłowość. Jego prace po doktoracie obejmowały: konstrukcje światłowodowych laserowych źródeł światła z

synchronizacją modów, spektrometrie rotacji Faradaya, zastosowania macierzowych masek ciekłokrystalicznych oraz zastosowania laserów kaskadowych w spektroskopii. Swoje doświadczenie zawodowe rozszerzał poprzez szereg staży naukowych: w grupie obrazowania medycznego profesora Macieja Wojtkowskiego na UMK (2009), w Menlo Systems GmbH (2009-2010), w grupie profesora Gerarda Wysockiego na Princeton University (2012). Przedłożony cykl prac habilitacyjnych wraz z pozostałym dorobkiem świetnie pokazuje szeroką gamę umiejętności od czysto doświadczalnych po prowadzenie zaawansowanych obliczeń numerycznych i konstruowanie modeli teoretycznych. Te umiejętności w połączeniu z talentem i intuicją pozwoliły mu uzyskiwać znaczące wyniki, które były uhonorowane międzynarodowymi i krajowymi nagrodami takimi jak na Innovation Forum, Princeton University (2012) czy Nagroda Burgena od Academia Europaea (2013) oraz Stypendium MNiSW dla młodych naukowców (2014-2017). Wyniki prac habilitanta zyskały uznanie środowiska naukowego. Były cytowane ponad 240 razy przez innych uczonych. Na zaproszenie referował wyniki swych prac na szeregu konferencjach. O uznaniu jego pozycji na arenie międzynarodowej świadczy udział w gremiach takich jak Komitet Naukowy konferencji CLEO, Rada Młodych Naukowców przy MNiSW czy recenzowanie artykułów dla renomowanych periodyków: Optics Express, Optics Letters, Applied Physics B, Applied Optics i wiele innych.

Na szczególne uznanie zasługuje samodzielność i duża aktywność dr Michała Nikodema. Świadczą o niej dobitnie trzy projekty uzyskane od najważniejszych polskich agend finansujących badania naukowe (FNP, NCN, NCBiR), których był lub jest kierownikiem. Ponadto mimo braku obowiązków dydaktycznych nie stronił od prowadzenia wykładów na Politechnice Wrocławskiej oraz opieki nad magistrantami. Angażował się też w popularyzację fizyki w ramach Dolnośląskiego Festiwalu Nauki oraz Nocy Laboratoriów.

Podsumowując bardzo wysoko oceniam przedłożony cykl prac dr. Michała Nikodema. Znacząco się nim przyczynił do rozwoju spektroskopii dyspersyjnej i jej zastosowań w monitoring atmosfery w warunkach polowych. Habilitant wykazał się zarówno dużą samodzielnością jak i zdolności do organizacji badań na wysokim światowym poziomie. Przedstawione osiągnięcie oraz pozostały dorobek naukowy w pełni spełniają ustawowe oraz zwyczajowe wymagania stawiane w przewodzie habilitacyjnym. Toteż wnioskuję o przystąpienie do dalszych kroków przewodu i nadanie doktorowi Michałowi Nikodemowi stopnia doktora habilitowanego.

