

Autoreferat

1. Imię i Nazwisko.

Mirosław Zachwieja

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/ artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

- 1987 Stopień magistra fizyki uzyskany na Wydziale Matematyczno-Fizycznym Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Rzeszowie. Temat pracy magisterskiej „Analiza pasma (1–0) układu Baldeta-Johnsona ($B^2\Sigma^+ - A^2\Pi_i$) w widmie molekuly $^{13}C^{16}O^+$ ”; promotor: Prof. dr hab. Ryszard Kępa.
- 1998 Stopień doktora nauk fizycznych uzyskany na Wydziale Matematyczno-Przyrodniczym Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Rzeszowie (obecnie Uniwersytet Rzeszowski). Tytuł rozprawy „Analiza układu $A^2\Delta - X^2\Pi$ w widmie rodników $^{12}C^1H$ i $^{13}C^1H$ ”; promotor: Prof. dr hab. Ryszard Kępa; recenzenci: Prof. dr hab. Józef Szudy, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu; Doc. dr hab. Jerzy Galica, Instytut Fizyki Molekularnej PAN w Poznaniu; Prof. dr hab. Marek Rytel, WSP w Rzeszowie.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/ artystycznych.

- 1987-1998 Asystent w Zakładzie Fizyki Atomowej i Molekularnej (ZFAiM) Instytutu Fizyki na Wydziale Matematyczno-Fizycznym Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Rzeszowie (obecnie Uniwersytet Rzeszowski).
- 1998-2009 Adiunkt w Instytucie Fizyki (ZFAiM) na Wydziale Matematyczno-Przyrodniczym Uniwersytetu Rzeszowskiego.
- 2001/2002 *Visiting Fellow* w National Research Council of Canada (NRC/CNRC), Ottawa Kanada (stypendium NATO Science Fellowship na prowadzenie badań naukowych w Steacie Institute of Molecular Sciences, w zespole *Spectroscopy Group*, kierowanym przez Dra Benoita Simarda) – 12 miesięcy (z miesięczną przerwą – w połowie okresu trwania stypendium – na kontakt z rodziną).
- od 2009 Starszy wykładowca w Instytucie Fizyki na Wydziale Matematyczno-Przyrodniczym Uniwersytetu Rzeszowskiego.

4. Wskazanie osiągnięcia* wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.):

Jako osiągnięcie naukowe, zgodnie z powyższą ustawą, wskazuję jednotematyczny cykl 6 publikacji o tematyce z zakresu optycznej spektroskopii molekularnej, zastosowanej do badania widm elektronowo-oscylacyjno-rotacyjnych w rejonie 200–900 nm wybranych molekuł i rodników. Pod każdą z wymienionych poniżej publikacji podaję *impact factor* czasopisma zgodnie z rokiem, w którym została opublikowana, liczbę cytowań (wg bazy Web of Science) oraz oszacowany przeze mnie mój procentowy udział w powstaniu pracy.

a) tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego,

„Precyzyjna rejestracja spektrometryczna wysokiej rozdzielczości oraz analiza widm elektronowo-oscylacyjno-rotacyjnych wybranych molekuł i rodników o znaczeniu astrofizycznym (AlH, AlH⁺, ¹³C¹⁷O i CD).”

b) (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa),

H1. W. Szajna, M. Zachwieja, “Emission spectroscopy of the $A^1\Pi-X^1\Sigma^+$ system of AlH” — (2009), Eur. Phys. J. **D 55**, 549–555.

impact factor: 1,420; liczba cytowań: 3; mój udział w pracy: 50%

H2. W. Szajna, M. Zachwieja, “The emission spectrum of the $C^1\Sigma^+-X^1\Sigma^+$ system of AlH” — (2010), J. Mol. Spectrosc. **260**, 130–134.

impact factor: 1,479; liczba cytowań: 2; mój udział w pracy: 50%

H3. W. Szajna, M. Zachwieja, R. Hakalla, R. Kępa, “Emission Spectroscopy of AlH: the $X^1\Sigma^+$, $A^1\Pi$ and $C^1\Sigma^+$ States Characteristics” — (2011), Acta Physica Polonica A **120**, 417–423.

impact factor(2010): 0,467; liczba cytowań: 0; mój udział w pracy: 40%

* w przypadku, gdy osiągnięciem tym jest praca/ prace wspólne, należy przedstawić oświadczenia wszystkich jej współautorów, określające indywidualny wkład każdego z nich w jej powstanie

H4. W. Szajna, M. Zachwieja, "High-resolution emission spectroscopy of the $A^2\Pi-X^2\Sigma^+$ system of AlH^+ " — (2011), *J. Mol. Spectrosc.* **269**, 56–60.

impact factor(2010): 1,479; liczba cytowań: 1; mój udział w pracy: 50%

H5. R. Hakalla, M. Zachwieja, "Rotational analysis of the Ångström system ($B^1\Sigma^+-A^1\Pi$) in the rare $^{13}C^{17}O$ isotopologue" — (2012), *J. Mol. Spectrosc.* **272**, 11–18.

impact factor(2010): 1,479; liczba cytowań: 0; mój udział w pracy: 50%

H6. M. Zachwieja, W. Szajna, R. Hakalla, "The $A^2\Delta-X^2\Pi$ band system of the CD radical" — (2012), *J. Mol. Spectrosc.* **275**, 53–60.

impact factor(2010): 1,479; liczba cytowań: 0; mój udział w pracy: 70%

c) omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Celem naukowym wymienionych prac było uzyskanie możliwie najdokładniejszych, wysokorozdzielczych widm elektronowo-oscyłacyjno-rotacyjnych wybranych molekuł, w tym rodników, a następnie szczegółowa analiza tych widm i wyznaczenie nowych bądź udokładnionych parametrów struktury elektronowo-rowibronicznej badanych cząsteczek. W tym celu skonstruowałem, o ile mi wiadomo, najdokładniejszy na świecie spektrometr dyspersyjny z odbiciową siatką dyfrakcyjną, wyposażony na wyjściu w kontrolowany interferometrycznie fotopowielacz na zakres 200–900 nm, pracujący w trybie zliczania pojedynczych fotonów. Odkąd przy największych teleskopach na świecie zaczęto instalować spektrometry dyspersyjne typu *echelle*¹ (z odbiciową siatką dyfrakcyjną jako elementem dyspersyjnym i chłodzonym kriogenicznie bardzo czułym detektorem CCD) zamiast często wcześniej stosowanych spektrometrów fourierowskich FTS (*Fourier Transform Spectrometer*), wzrasta znaczenie aparatury dyspersyjnej w badaniach spektroskopowych. Zbudowany przeze mnie przyrząd wypełnia lukę między spektrometrami typu *echelle* i FTS – charakteryzuje się pośrednią czułością i zdolnością rozdzielczą w porównaniu do obu typów spektrometrów, zaś absolutna dokładność i precyzja pomiarów liczb falowych linii widmowych i ich natężeń, w zakresie widzialnym i ultrafiolecie, dorównuje najdoskonalszym spektrometrom FTS.

Podstawą przyrządu mojej konstrukcji jest dwumetrowy spektrograf PGS-2 (*Plane Grating Spectrograph*) typu Eberta z odbiciową siatką dyfrakcyjną o

¹ R. S. Ram, P.F. Bernath and K.H. Hinkle, Infrared Emission Spectroscopy of NH: Comparison of a Cryogenic Echelle Spectrograph with a Fourier Transform Spectrometer. *J. Chem. Phys.* **110**, 5557-5563 (1999).

45 600 rysach oraz kontrolowany interferometrycznie laserem He-Ne chłodzony fotopowielacz, pracujący w trybie zliczania pojedynczych fotonów. Szczelina próbkująca fotopowielacza o szerokości 0,035 mm i wysokości 10 mm porusza się wraz z nim ruchem jednostajnym wzdłuż płaszczyzny ogniskowej spektrografu (tam gdzie kiedyś zakładano kliszę), zaś siatka dyfrakcyjna pozostaje nieruchoma w trakcie skanowania widma. Interferometr kontrolujący położenie szczeliny fotopowielacza został zsynchronizowany z układem zliczającym impulsy z fotopowielacza w czasie próbkowania t_p . Oba urządzenia są taktowane z jednego zegara systemowego o częstotliwości 1 MHz, co eliminuje możliwość „rozjechania” się obu urządzeń nawet w trakcie kilkudziesięciogodzinnych pomiarów. Podczas skanowania widma interferometr mierzy zmieniające się położenie szczeliny w czasie t_p jednego próbkowania fotopowielacza aż 64 razy, a do komputera przesyłana jest wartość średnia położenia, która wraz ze zmierzoną liczbą zliczeń zarejestrowanych przez fotopowielacz w czasie t_p tworzy jeden punkt pomiarowy (pełne skanowanie na drodze 215 mm składa się z około 73000 punktów pomiarowych). Podczas pomiarów krok skanowania widma wynosi 3 μm (jest to droga, o jaką przesuwają się szczelina fotopowielacza w czasie próbkowania t_p fotopowielacza, który to czas wybiera się przed rozpoczęciem skanowania spośród dostępnych wartości: 50 ms, 100 ms, 200 ms, 500 ms, 1 s, 2 s, 5 s lub 10 s). Krok skanowania jest zatem zdecydowanie mniejszy, niż szerokość pikseli w detektorach CCD stosowanych w spektrometrach typu *echelle*, która wynosi zwykle 25 μm w najczulszych urządzeniach tego typu, bądź 13 μm w przypadku aparatów o mniejszej czułości. Stąd też zdolność rozdzielcza przyrządu mojej konstrukcji oraz precyzja wyznaczanych liczb falowych linii widmowych kilkukrotnie przewyższa te uzyskiwane w spektrometrach typu *echelle*.

W skonstruowanym przeze mnie spektrometrze do detekcji promieniowania zastosowałem fotopowielacz Hamamatsu R943-02, chłodzony przy wykorzystaniu efektu Peltiera do temperatury poniżej -30°C , pracujący w trybie zliczania pojedynczych fotonów z efektywnością kwantową około 20% (czyli średnio co piąty foton wpadający do detektora wywołuje impuls i jest zliczany). Najlepsze chłodzone kriogenicznie detektory CCD, stosowane w spektrometrach typu *echelle*, mają efektywność rzędu 60–70%. Oba rodzaje detektorów zapewniają bardzo dużą dynamikę pomiarów (fotopowielacz kilka razy większą), tzn. w tym samym mierzonym widmie zostają zarejestrowane linie, które w przypadku użytego przeze mnie fotopowielacza mogą się różnić natężeniem nawet ponad 100 tysięcy razy. Dzięki temu możliwe jest badanie słabych widm molekularnych przy obecności w źródle widmowym niezwykle silnych linii atomowych (np. Ne).

Takich pomiarów praktycznie nie da się wykonać za pomocą spektrometrów FTS², gdyż stosowane tam detektory nie zapewniają wystarczającej dynamiki pomiaru natężenia światła. Zastosowany fotopowielacz R943-02 charakteryzuje się doskonałą liniowością aż do szybkości zliczeń rzędu 6 mln na sekundę (powyżej tej wartości następuje powoli rosnąca saturacja). Dzięki temu podczas skanowania zachowany jest stosunek natężeń rejestrowanych linii, co w połączeniu z kontrolą interferometryczną położenia szczeliny fotopowielacza daje doskonałe odwzorowanie skanowanego widma nawet wtedy, gdy linie częściowo nachodzą na siebie. Pozwala to później, w trakcie analizy widm, wyliczać liczby falowe linii nakładających się na siebie, co znacznie poszerza możliwości skonstruowanego przez mnie spektrometru, tym bardziej, że rejestrowane linie pojedyncze mają symetryczny kształt, szerokość połówkową około 40 μm ($0,15 \text{ cm}^{-1}$ w rejonie 20000 cm^{-1}) i dobrze opisuje je kontur Gaussa.

Absolutną dokładność pomiarów liczb falowych linii na poziomie $\pm 0,0015 \text{ cm}^{-1}$ (przy wartościach liczb falowych rzędu 20000 cm^{-1}) zapewnia opracowany przez mnie nowatorski sposób kalibracji badanego widma w czasie rzeczywistym skanowania, a nie przed lub po jego zakończeniu, jak to zwykle bywa w tego typu spektrometrach. Dzięki tej metodzie kompensowane są wszelkie fluktuacje położenia linii w trakcie skanowania widma, spowodowane minimalnymi zmianami kąta siatki dyfrakcyjnej (pochodzącymi od zakłóceń mechanicznych i termicznych) lub zmianami współczynnika załamania światła w powietrzu (pochodzącymi od zmian temperatury, ciśnienia i wilgotności w pomieszczeniu laboratorium oraz wewnątrz spektrografu). Podczas przeprowadzanych przez mnie pomiarów zawsze pracują dwa źródła widmowe, jedno – generujące widmo badane i drugie – wzorcowe. Na szczelinę wejściową spektrografu pada prawie zawsze światło ze źródła badanego. Linie kalibracyjne (atomowe linie Th) „pojawiają” się w widmie badanym dzięki chwilowemu przekierowywaniu światła ze źródła referencyjnego na szczelinę wejściową spektrografu, w odpowiednich momentach podczas skanowania, za pomocą przestawianego komputerowo pryzmatu kwarcowego. Każda zarejestrowana linia referencyjna Th zajmuje 80 μm badanego widma, którego ten fragment nie jest rejestrowany. Dzięki temu w widmie badanym pojawia się kilkadziesiąt wybranych linii atomowych Th bez nakładania się obu widm, jak ma to zwykle miejsce w tego typu przyrządach, gdzie zamiast przestawianego pryzmatu stosuje się ustawione na stałe zwierciadło półprzepuszczalne lub *beamsplitter*, które mieszają światło z obu źródeł. Oczywiście zastosowana

² D. Cossart, M. Elhanine, An advantage of the dispersive optical spectroscopy relative to that using Fourier transform application to the emission spectra of SiC, *Chem. Phys. Lett.* **285** (1998) 83-91.

metoda kalibracji w skonstruowanym przeze mnie przyrządzie wymaga niezwykle precyzyjnej znajomości położenia linii widma wzorcowego (widmo atomowe Th) przy danym ustawieniu kąta siatki dyfrakcyjnej spektrografu. Dlatego też na końcowym etapie konstrukcyjnym przyrządu przeprowadziłem rejestrację widma referencyjnego Th dla kąta ustawienia siatki dyfrakcyjnej w zakresie od 5° do 70° , co $2,5^\circ$. Ostateczne testy kalibracji oraz korekcję ustawienia obu źródeł (badanego i referencyjnego), w celu uzyskania identycznego rozkładu światła wzdłuż szczeliny fotopowielacza, przeprowadziłem przy użyciu dwu identycznych lamp z drążoną katodą HCL (*hollow-cathode lamp*), uzyskując absolutną dokładność kalibracji wynoszącą około $\pm 0,0015 \text{ cm}^{-1}$ w zakresie $11000\text{--}22000 \text{ cm}^{-1}$ i około $\pm 0,0025 \text{ cm}^{-1}$ w rejonie $22000\text{--}30000 \text{ cm}^{-1}$. W zakresie widmowym powyżej 30000 cm^{-1} absolutna dokładność kalibracji sukcesywnie maleje (ze względu na brak linii atomowych Th w tym rejonie kalibrację przeprowadza się za pomocą linii Th uzyskanych z innych rzędów widmowych, niż rząd macierzysty rejestracji), osiągając wartość około $\pm 0,009 \text{ cm}^{-1}$ na granicy nadfioletu próżniowego (50000 cm^{-1}). Precyzja mierzonych liczb falowych ν linii, liczona jako $\Delta\nu/\nu$, w całym zakresie $11000\text{--}50000 \text{ cm}^{-1}$ wynosi około $1,0 \cdot 10^{-7}$ i dorównuje najdoskonalszym spektrometrom FTS.

Spektrometr dyspersyjny mojej konstrukcji, jak wszystkie tego typu przyrządy, wykazuje ogromną wrażliwość na mechaniczne i termiczne odkształcenia jego korpusu, zwłaszcza tuby optycznej. Wrażliwość ta wynika z silnej zależności położenia linii na wyjściu spektrografu od zmiany kąta ustawienia siatki dyfrakcyjnej. Obrót siatki o kąt $0,01^\circ$ powoduje przesunięcie się linii na wyjściu spektrometru o około $700 \mu\text{m}$. Ograniczenie fluktuacji położenia linii do wielkości poniżej $0,5 \mu\text{m}$ (w rejonie 20000 cm^{-1} będzie to oznaczało fluktuacje liczb falowych linii poniżej $0,0020 \text{ cm}^{-1}$) wiąże się zatem z koniecznością utrzymywania stałości kąta ustawienia siatki względem zwierciadła parabolicznego (znajdującego się na końcu dwumetrowej tuby optycznej) z dokładnością większą niż $0,00001^\circ$ (jedna stutysięczna stopnia). Jest to niezwykle trudne zadanie, gdyż jak się okazało podczas bardzo licznych testów przyrządu, zwykłe przemieszczanie się eksperymentatora w pobliżu spektrografu, ustawionego na oryginalnych fabrycznych podstawach, powoduje gwałtowne przesuwanie się linii o $5\text{--}15 \mu\text{m}$, spowodowane odkształcaniem się stropu pomieszczenia laboratorium i minimalnym skręcaniem się korpusu spektrografu. Z kolei ciepłota ciała eksperymentatora (emitowane promieniowanie termiczne) wywołuje niejednorodne nagrzewanie się korpusu spektrometru i wolnozmiennie w czasie, minimalne skręcanie się tuby optycznej przyrządu, powodujące powolne, trwające kilkanaście minut, przemieszczanie się linii z prędkością

około 1,5 $\mu\text{m}/\text{min}$. W celu wyeliminowania tych bardzo niekorzystnych zjawisk i ograniczenia fluktuacji położenia rejestrowanych linii, spektrometr został umieszczony na płycie granitowej o grubości 6 cm, która spoczywa na stalowych ceownikach przytwierdzonych do ściany nośnej (o grubości 35 cm i masie wielu ton) w pomieszczeniu laboratorium. Usunęło to całkowicie mechaniczne skręcanie się korpusu spektrometru i związane z tym problemy. Z kolei dokładne zaizolowanie termiczne spektrometru bardzo znacząco zmniejszyło podatność urządzenia na zmiany temperatury otoczenia i źródła promieniowania termicznego w pomieszczeniu laboratorium (eksperymentator, zasilacze, kaloryfery, itp.). W połączeniu z precyzyjną stabilizacją temperatury w laboratorium (przy użyciu klimatyzatora o pracy ciągłej) spowolniło to i ograniczyło fluktuacje termiczne położenia linii rejestrowanych przez spektrometr do wartości rzędu 1,5 $\mu\text{m}/\text{h}$. Tak niewielkie fluktuacje (dryft temperaturowy) są całkowicie kompensowane opisaną wcześniej przeze mnie metodą kalibracji widma w czasie rzeczywistym skanowania. Jedynym źródłem błędów pomiarowych, które może stwarzać pewne problemy, są zmiany ciśnienia atmosferycznego podczas skanowania widm. Szczególnie niekorzystne są gwałtowne skoki ciśnienia i związane z tym szybkie zmiany współczynnika załamania światła w powietrzu wypełniającym pomieszczenie laboratorium i wnętrze spektrografu. Powodują one skoki położenia linii (o wartości rzędu kilku mikronów), które tylko częściowo są kompensowane podczas kalibracji. Aby wykonać możliwie najprecyzyjniejsze pomiary konieczne jest przeprowadzanie ich przy w miarę stabilnym ciśnieniu atmosferycznym (wahania ciśnienia nie powinny być większe niż $\pm 1,0$ hPa).

Skonstruowany przeze mnie spektrometr dyspersyjny z siatką dyfrakcyjną, jak już wspomniałem, wydaje się być najdokładniejszym tego typu urządzeniem na świecie. Jedyna znana mi podobna konstrukcja (o której dowiedziałem się już po zbudowaniu mojego przyrządu) jest wykorzystywana³ w National Institute of Standard and Technology (NIST) w USA, zamiennie z rejestracją na płytach fotograficznych. Ze względu na brak interferometrycznej kontroli położenia szczeliny fotonowielacza, pomiary fotometryczne nadają się jedynie do mierzenia natężeń rejestrowanych linii widmowych, zaś długości fali linii (bądź liczby falowe) wyznaczone są z rejestracji fotograficznych. Mój nowatorski spektrometr dyspersyjny z interferometryczną kontrolą położenia szczeliny fotonowielacza, został opisany i użyty we wszystkich wymienionych powyżej publikacjach **H1–H6**, stanowiących moje osiągnięcie naukowe, a uzyskane wyniki w

³ Opis urządzenia można znaleźć na stronie <http://www.nist.gov/pml/data/platinum/>

poszczególnych pracach zostały omówione poniżej wraz ze szczegółowym opisem mojego udziału w powstanie tych publikacji, który to opis nie uwzględnia ogromnego nakładu pracy, jaki włożyłem w latach 2006–2008 w skonstruowanie i skalibrowanie spektrometru.

[H1] W pracy po raz pierwszy wykorzystano możliwości nowego spektrometru dyspersyjnego. Uzyskano absolutną dokładność liczb falowych linii rzędu $\pm 0,0015 \text{ cm}^{-1}$ dla przejścia $A^1\Pi-X^1\Sigma^+$ w molekułe AlH, zarejestrowanego w rejonie $18000\text{--}25000 \text{ cm}^{-1}$ z teoretyczną zdolnością rozdzielczą R równą 228000 . Do wytworzenia badanego widma użyto chłodzonej wodą lampy z drażoną katodą aluminiową, wypełnionej mieszaniną neonu i amoniaku NH_3 zamiast standardowo stosowanego wodoru, uzyskując stabilne i silne źródło widma układu $A-X$ w AlH (stałość natężeń linii przez około 4 godziny świecenia, stosunek sygnału do szumu S/N rzędu $250:1$ dla najmocniejszego pasma $0-0$). Cztery pasma pozadiagonalne ($0-1$, $1-0$, $1-2$, $1-3$) zostały zarejestrowane po raz pierwszy od 1954 r. Przeprowadzono redukcję widma do parametrów molekularnych hamiltonianu efektywnego, uzyskując odchylenie standardowe σ dopasowania modelu do pomiarów wynoszące $0,0009 \text{ cm}^{-1}$ dla pasma $0-0$ i $0,0014\text{--}0,0037 \text{ cm}^{-1}$ dla pasm $1-v''$. Wykryto i zanalizowano bardzo słabą perturbację poziomu $v = 1$, $J = 5$ stanu $A^1\Pi$, nie zauważoną wcześniej⁴ przy badaniach pasma $1-1$ układu $A-X$ za pomocą jednometrowego spektrometru fourierowskiego FTS wysokiej rozdzielczości. Udokumentowano parametry molekularne stanu górnego $A^1\Pi$ dla $v = 1$ oraz uzyskano po raz pierwszy pełny komplet stałych podwojenia- Λ , tj. q_1 i q_{D1} , a dzięki temu także stałe równowagowe q_e , α_{qe} , q_{De} i α_{qDe} .

Mój udział w pracy: zaprojektowanie konstrukcji lampy wyładowczej i dobór warunków pracy lampy (wspólnie z W. Szajną), przeprowadzenie rejestracji oraz kalibracji widm badanego przejścia, dokonanie modyfikacji autorskich programów komputerowych służących do wyznaczania parametrów molekularnych, analiza danych i przygotowanie wyników do publikacji (wspólnie z W. Szajną), napisanie większości tekstu rozdziału 2 (*Experimental details*), udział w końcowej redakcji tekstu pracy.

[H2] W pracy zarejestrowano w rejonie dalekiego nadfioletu $42000\text{--}45000 \text{ cm}^{-1}$ widmo przejścia $C^1\Sigma^+-X^1\Sigma^+$ (pasma $0-0$, $1-1$, $1-2$) w molekułe AlH z absolutną dokładnością liczb falowych linii sięgającą $\pm 0,004 \text{ cm}^{-1}$ i zdolnością rozdzielczą $R = 456000$. Badane widmo zostało wytworzone w chłodzonej

⁴ R.S. Ram and P.F. Bernath, High Resolution Fourier Transform Emission Spectroscopy of the $A^1\Pi - X^1\Sigma^+$ System of AlH, *Appl. Optics* **35**, 2879-2883 (1996).

wodą, zmodyfikowanej lampie wyładowczej znanej konstrukcji⁵, z otwartą drążoną katodą aluminiową i dwiema anodami, wypełnionej mieszaniną neonu i amoniaku, która daje czterokrotnie większe natężenie linii widmowych układu A–X, niż lampa wyładowcza użyta w poprzedniej pracy [H1], przy jeszcze większej stabilności wyładowania jarzeniowego (stałość natężeń linii AlH przez około 6 godzin świecenia). Uzyskano precyzyjne wartości liczb falowych linii i termów rotacyjnych. Do liczb falowych linii przejścia C–X dopasowano model teoretyczny metodą Curla-Dane’a-Watsona, uzyskując odchylenie standardowe dopasowania równe 0,0074 cm⁻¹ dla pasma 0–0 oraz 0,010 cm⁻¹ dla pasm 1–1 i 1–2. Wyznaczono udokładnione parametry spektroskopowe stanu C¹Σ⁺. Po raz pierwszy zaobserwowano doświadczalnie i zanalizowano przewidziane teoretycznie perturbacje rotacyjne w stanie C¹Σ⁺, $\nu = 0, 1$.

Mój udział w pracy: zaprojektowanie konstrukcji lampy wyładowczej i dobór warunków pracy lampy (wspólnie z W. Szajną), przeprowadzenie rejestracji oraz kalibracji widm badanego przejścia, dokonanie modyfikacji autorskich programów komputerowych służących do wyznaczania parametrów molekularnych, analiza danych i przygotowanie wyników do publikacji (wspólnie z W. Szajną), napisanie większości tekstu rozdziału 2 (*Experimental details*), udział w końcowej redakcji tekstu pracy.

[H3] W pracy zarejestrowano w rejonie 20000–21500 cm⁻¹ pasma 0–0 i 1–1 przejścia C¹Σ⁺–A¹Π i pasmo 0–2 układu A¹Π–X¹Σ⁺ w molekule AlH z absolutną dokładnością liczb falowych linii sięgającą ±0,003 cm⁻¹ i zdolnością rozdzielczą R = 228000. Badane widmo zostało wytworzone w chłodzonej wodą lampie z otwartą drążoną katodą aluminiową i dwiema anodami, wypełnionej mieszaniną neonu i amoniaku. Przeprowadzono redukcję widma do parametrów molekularnych hamiltonianu efektywnego, uzyskując odchylenie standardowe σ dopasowania modelu do pomiarów wynoszące 0,0032 cm⁻¹ dla pasma 0–2 układu A–X oraz 0,0060–0,0077 cm⁻¹ dla pasm układu C–A. Wykonano rachunek łączony wyznaczonych parametrów molekularnych z tymi otrzymanymi w pracach [H1] i [H2], uzyskując udokładnione stałe molekularne trzech najniżej leżących stanów elektronowych cząsteczki AlH. Udokładniono wartości termów rotacyjnych stanu A¹Π, $\nu = 1$ oraz C¹Σ⁺, $\nu = 0, 1$.

Mój udział w pracy: zaprojektowanie konstrukcji lampy wyładowczej i dobór warunków pracy lampy (wspólnie z W. Szajną), przeprowadzenie rejestracji

⁵ R. Bacis, A new source for the search and study of electronic molecular spectra: the composite wall hollow cathode (CWHC), *J. Phys. E: Sci. Instrum.* **9** (1976) 1081-1086.

oraz kalibracji widm badanych przejść, dokonanie modyfikacji autorskich programów komputerowych służących do wyznaczania parametrów molekularnych, analiza danych i przygotowanie wyników do publikacji (wspólnie z W. Szajną), napisanie większości tekstu rozdziału 2 (*Experimental details*), udział w końcowej redakcji tekstu pracy.

[H4] W pracy dokonano rejestracji w rejonie 27000–29000 cm^{-1} pasma 0–0 i 1–1 układu $A^2\Pi-X^2\Sigma^+$ w molekułe AlH^+ z absolutną dokładnością liczb falowych linii wynoszącą $\pm 0,003 \text{ cm}^{-1}$ i rozdzielczością $R = 320000$. Badane widmo zostało wytworzone w chłodzonej wodą lampie z otwartą drążoną katodą aluminiową i dwiema anodami, wypełnionej mieszaniną neonu i amoniaku. Po raz pierwszy uzyskano pełną strukturę rotacyjną widma – 12 gałęzi aż do $J = 36,5$ – i wyjaśniono przyczynę nagłego zanikania linii o wyższych wartościach J . Do liczb falowych linii przejścia A–X dopasowano model teoretyczny metodą Curla-Dane’a-Watsona, uzyskując odchylenie standardowe dopasowania równe $0,0037 \text{ cm}^{-1}$ i $0,0044 \text{ cm}^{-1}$, odpowiednio dla pasma 0–0 i 1–1. Zaobserwowano i zanalizowano anomalne zjawisko podwojenia– Λ w stanie $A^2\Pi$ oraz zaburzenia termów tego stanu. Uzyskano precyzyjne parametry molekularne stanu $X^2\Sigma^+$, większość z nich po raz pierwszy. Wyznaczono wartości termów stanu $A^2\Pi$, $v = 0$ oraz perturbowanego stanu $v = 1$.

Mój udział w pracy: zaprojektowanie konstrukcji lampy wyładowczej i dobór warunków pracy lampy (wspólnie z W. Szajną), przeprowadzenie rejestracji oraz kalibracji widm badanego przejścia, dokonanie modyfikacji autorskich programów komputerowych służących do wyznaczania parametrów molekularnych, analiza danych i przygotowanie wyników do publikacji (wspólnie z W. Szajną), napisanie większości tekstu rozdziału 2 (*Experimental details*), udział w końcowej redakcji tekstu pracy.

[H5] W pracy dokonano rejestracji w rejonie 19000–21500 cm^{-1} pasma 0–1 i 0–2 układu Ångströma $B^1\Sigma^+-A^1\Pi$ w bardzo rzadkiej molekułe $^{13}\text{C}^{17}\text{O}$ z absolutną dokładnością liczb falowych linii wynoszącą $\pm 0,002 \text{ cm}^{-1}$ i zdolnością rozdzielczą $R = 228000$ dla pasma 0–1 oraz $R = 182000$ dla pasma 0–2. Badane widmo zostało wytworzone w chłodzonej wodą lampie z otwartą drążoną katodą stalową i dwiema anodami, w której osadzono węgiel ^{13}C wewnątrz katody, a następnie lampę wypełniono tlenem $^{17}\text{O}_2$. Węgiel osadzano poprzez kilkudziesięciogodzinne wyładowanie jarzeniowe w lampie wypełnionej helem i acetylenem $^{13}\text{C}_2^2\text{H}_2$, następnie lampę odpompowano i napełniono tlenem, uzyskując stabilne źródło widma molekuły $^{13}\text{C}^{17}\text{O}$ (doskonała stabilność natężenia linii molekularnych przez

około 6 godzin świecenia i prądzie nie większym niż 50 mA). Do liczb falowych linii przejścia B–A dopasowano model teoretyczny metodą Curla-Dane'a-Watsona, uzyskując odchylenie standardowe dopasowania równe $0,0029 \text{ cm}^{-1}$ i $0,0013 \text{ cm}^{-1}$, odpowiednio dla pasma 0–1 i 0–2. Wyznaczono precyzyjne wartości stałych molekularnych B i D stanu $B^1\Sigma^+$ oraz stałe efektywne perturbowanego stanu $A^1\Pi$. Zidentyfikowano i szczegółowo zanalizowano obserwowane rozliczne zaburzenia rotacyjne w stanie $A^1\Pi$.

Mój udział w pracy: zaprojektowanie konstrukcji lampy wyładowczej i dobór warunków pracy lampy (wspólnie z R. Hakallą), przeprowadzenie rejestracji oraz kalibracji widm badanego przejścia, dokonanie modyfikacji autorskich programów komputerowych służących do wyznaczania parametrów molekularnych, napisanie większości tekstu rozdziału 2 (*Experimental details*), udział w końcowej redakcji tekstu pracy.

[H6] W pracy dokonano rejestracji w rejonie $22800\text{--}24000 \text{ cm}^{-1}$ pasm 0–0, 1–1, 2–2 i 3–3 układu $A^2\Delta\text{--}X^2\Pi$ w rodniku CD z absolutną dokładnością liczb falowych linii sięgającą $\pm 0,003 \text{ cm}^{-1}$ i zdolnością rozdzielczą $R = 270000$. Badane widmo zostało wytworzone w chłodzonej wodą lampie z otwartą drążoną katodą stalową i dwiema anodami, wypełnionej helem i metanem C^2H_4 . Stabilne widmo rodnika CD uzyskano przy prądzie nie przekraczającym 50 mA (stałość natężeń linii molekularnych przez około 6 godzin świecenia). Otrzymane widmo charakteryzuje się wysoką temperaturą oscylacyjną i rotacyjną (zaobserwowano linie aż do $J = 38,5$), przy stosunkowo niewielkim poszerzeniu dopplerowskim linii. Jest to najbardziej skomplikowane widmo, z jakim kiedykolwiek musiałem się zmierzyć. Blisko 1200 linii z czterech pasm diagonalnych układu A–X pada w ten sam rejon widmowy, powodując ogromne ich zagęszczenie i nakładanie się na siebie, co niezwykle utrudnia analizę widma. Kilkuetapowa, żmudna interpretacja rotacyjna i oscylacyjna linii zakończyła się sukcesem – rozpoznano linie wszystkich 12 gałęzi głównych nieznanymi wcześniej pasm 2–2 i 3–3 układu A–X. Skorygowano błędną interpretację izolowanej grupy linii w okolicach $4319,7 \text{ \AA}$ (pochodzą one z pasma 3–3, a nie 2–2, jak sądzono wcześniej). Wyznaczono liczby falowe linii pasm 0–0 i 1–1, które są o rząd wielkości bardziej dokładne od wartości uzyskanych z wcześniejszych obserwacji. Przeprowadzono redukcję widma do parametrów molekularnych hamiltonianu efektywnego, otrzymując odchylenie standardowe σ dopasowania modelu do pomiarów wynoszące $0,0032 \text{ cm}^{-1}$, $0,0036 \text{ cm}^{-1}$, $0,0066 \text{ cm}^{-1}$ i $0,0088 \text{ cm}^{-1}$, odpowiednio dla pasma 0–0, 1–1, 2–2 i 3–3. Wykonano rachunek łączony wyznaczonych obecnie parametrów z tymi znanymi z pomiarów oscylacyjno-rotacyjnych i czysto rotacyjnych w stanie $X^2\Pi$, uzyskując końcowe parametry

molekularne obu kombinujących stanów, wiele z nich po raz pierwszy. Otrzymane parametry molekularne stanu $X^2\Pi$ odtwarzają przejścia fundamentalne w rodniku CD z dokładnością większą niż 100 kHz, a także usuwają wcześniejsze niewielkie rozbieżności dotyczące stałych molekularnych stanu podstawowego. Prawie wszystkie parametry molekularne stanu $A^2\Delta$ uzyskano po raz pierwszy, w tym stałe podwojenia— Λ p_Δ i q_Δ , które w stanie oscylacyjnym $v = 0$, wynoszą odpowiednio $1,52(36)\cdot 10^{-7} \text{ cm}^{-1}$ i $-4,58(57)\cdot 10^{-9} \text{ cm}^{-1}$. Są to najmniejsze wartości parametrów struktury subtelnej, jakie kiedykolwiek udało się wyznaczyć, a sam efekt podwojenia— Λ w stanie $A^2\Delta$ rodnika CD jest znacznie mniejszy od struktury nadsubtelnej tego stanu. Stwierdzono również wyraźne odstępstwa od przybliżenia Borna-Oppenheimera w rodniku CD i wyznaczono elektronowe przesunięcie izotopowe dla stanu $A^2\Delta$, wynoszące $\Delta v_e = 32,105 \text{ cm}^{-1}$ i niezależny od mas jąder współczynnik $\Delta U = 64,763(38) \text{ cm}^{-1}$.

Mój udział w pracy: zaprojektowanie konstrukcji lampy wyładowczej i dobór warunków pracy lampy, przeprowadzenie rejestracji oraz kalibracji widm badanego przejścia, dokonanie modyfikacji autorskich programów komputerowych służących do wyznaczania parametrów molekularnych, analiza danych, przygotowanie wyników do publikacji (wspólnie z W. Szajną), napisanie większości tekstu publikacji.

Należy podkreślić, że przedstawiony cykl publikacji mógł powstać jedynie dzięki wykorzystaniu skonstruowanego przeze mnie spektrometru dyspersyjnego, zaś uzyskane wyniki w pełni potwierdzają jego ogromną użyteczność w badaniach widm i struktury elektronowo-rowibronicznej molekuł w fazie gazowej. Wyznaczone w pracach parametry molekularne badanych cząsteczek i rodników będą zapewne wykorzystywane w bazach danych i programach do symulacji widm (jak to miało już miejsce w przeszłości), jak również będą stanowić punkt odniesienia dla teoretycznych modeli oraz metod obliczeniowych chemii kwantowej.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych (artystycznych).

Publikacje naukowe ujęte w bazie Web of Science

(stan na dzień 21 czerwca 2012)

Całkowita liczba publikacji (artykuły): **26** (19 po doktoracie).

Sumaryczny *impact factor* publikacji wg listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania: **36,419**

Liczba cytowań: **322**

Liczba cytowań z wyłączeniem autocytowań: **287**

Średnia liczba cytowań przypadająca na jedną publikację: **12,38**

Indeks Hirscha #H: **9**

Pełny wykaz publikacji i doniesień konferencyjnych podano w Załączniku 3 (z uwzględnieniem wymagań określonych w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 1 września 2011 r., Dz. U. nr 196. poz. 1165).

Przebieg pracy naukowej przed uzyskaniem stopnia doktora

Pracę badawczą podjąłem w lutym 1987 r. pod opieką Prof. dra hab. Ryszarda Kępy, już w trakcie studiów przeprowadzając rejestrację i analizę nie badanego uprzednio widma i struktury układu Baldeta–Johnsona w izotopomerze $^{13}\text{C}^{16}\text{O}^+$. Przez następne dwa lata tworzyłem oprogramowanie do analizy widm i wyznaczania na ich podstawie parametrów molekularnych cząsteczek dwuatomowych. Programy te są ciągle przeze mnie modyfikowane do konkretnych zagadnień i korzystają z nich wszyscy pracownicy naukowo-dydaktyczni w naszym Zakładzie. W tamtym czasie zajmowałem się również testowaniem aparatury pomiarowej (spektrograf siatkowy PGS-2 do rejestracji fotograficznej i interferometryczny komparator do skanowania klisz), która została zestawiona w naszym Zakładzie. Wynikiem mojej pracy było znaczące udokładnienie pomiarów poprzez wykrycie i eliminację błędów systematycznych wnoszonych przez spektrograf siatkowy oraz zmniejszenie błędów przypadkowych komparatora. Umożliwiło to precyzyjne prowadzenie dalszych badań, które zostały ukierunkowane na widma elektronowo–oscylacyjno–rotacyjne oraz strukturę energetyczną wybranych — ze względu na ich duże znaczenie w fizykochemii, astrofizyce, badaniach środowiska naturalnego oraz w medycynie — molekuł CH, CO i NO oraz ich odmian izotopowych. Badania te w latach 1990–1997 zaowocowały opublikowaniem 7 prac w renomowanych periodykach (6 w USA i jedna w Anglii), 13 komunikatami na międzynarodowych konferencjach naukowych (Załącznik 3) oraz rozprawą doktorską, która wniosła oryginalne oraz istotne rozszerzenie spektroskopowych oraz kwantowo–mechanicznych informacji o strukturze rodnika CH w jego dwu odmianach izotopowych $^{12}\text{C}^1\text{H}$ i $^{13}\text{C}^1\text{H}$. Moja oryginalna autorska publikacja z 1995 r., będąca podstawą doktoratu, jest ciągle cytowana – do tej pory 90 razy, zaś wyznaczone przeze mnie stałe spektroskopowe rodników CH i NO są wykorzystywane np. w bazie danych i programie LIFBASE⁶ do symulacji widm molekuł dwuatomowych.

Przebieg pracy naukowej po uzyskaniu stopnia doktora

⁶ J. Luque and D.R. Crosley, "LIFBASE: Database and spectral simulation (version 1.5)", SRI International Report MP 99-009 (1999)

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora postanowiłem rozszerzyć swoje zainteresowania badawcze na inne molekuly i poznać nowe metody spektroskopii molekularnej, np. laserowe. W tym celu przygotowałem projekt badawczy, który zyskał aprobatę zarówno jednostki zapraszającej (National Research Council of Canada), jak i komisji przyznającej stypendia NATO Science Fellowship, i w marcu 2001 roku wyjechałem na 12 miesięcy do Kanady. W zespole badawczym *Spectroscopy Group* Dra Benoita Simarda prowadziłem badania elektronowo-oscylacyjno-rotacyjnych widm molekuł PH₂ i SiNSi, wzbudzanych metodą laserowo indukowanej fluorescencji LIF (*Laser Induced Fluorescence*) w warunkach naddźwiękowej wiązki molekularnej. Zebrany ogromny materiał doświadczalny był opracowywany po moim powrocie do Polski, stając się bazą do sześciu doniesień konferencyjnych i jednej publikacji.

W trakcie analiz widma SiNSi okazało się, że zastosowana podczas rejestracji rozdzielczość ($0,07\text{ cm}^{-1}$) oraz dokładność kalibracji (wartość absolutna $\pm 0,2\text{ cm}^{-1}$, precyzja $\pm 0,03\text{ cm}^{-1}$) są niewystarczające do pełnej interpretacji zarejestrowanego widma. Dlatego też przygotowałem kolejny projekt badawczy, tym razem ukierunkowany na wysokorozdzielczą rejestrację widma molekuly SiNSi, wzbudzanej laserem CW w warunkach naddźwiękowej wiązki molekularnej. Badania chciałem prowadzić w USA w ramach stypendium Fulbrighta, o które wystąpiłem w 2005 roku, przechodząc wszystkie etapy konkursowe, ostatecznie jednak funduszy nie uzyskałem. Postanowiłem wtedy, że stworzę na miejscu – w naszym Zakładzie, aby służyło również moim młodszym kolegom i koleżankom – nowoczesne laboratorium do badania elektronowo-oscylacyjno-rotacyjnych widm molekularnych w warunkach wysokiej rozdzielczości i czułości oraz z możliwie dużą absolutną dokładnością pomiarową liczb falowych linii i ich natężeń. W latach 2006–2008, mimo bardzo skromnych środków, jakimi dysponował nasz Zakład, udało nam się zbudować najdokładniejszy na świecie spektrometr dyspersyjny na zakres 200–900 nm. Skonstruowany on jest na bazie spektrografu siatkowego PGS-2 oraz kontrolowanego interferometrycznie laserem He-Ne chłodzonego fotopowielacza, pracującego w trybie zliczania pojedynczych fotonów. Szczelina próbująca fotopowielacza, o szerokości 0,035 mm i wysokości 10 mm, porusza się wraz z nim ruchem jednostajnym wzdłuż płaszczyzny ogniskowej spektrografu (tam gdzie kiedyś zakładano kliszę), zaś siatka dyfrakcyjna pozostaje nieruchoma podczas skanowania widma (krok skanowania wynosi $3\text{ }\mu\text{m}$).

Po drodze musieliśmy pokonać szereg problemów technicznych, związanych przede wszystkim z ogromną wrażliwością tego rodzaju spektrometru na

zakłócenia mechaniczne, termiczne i elektromagnetyczne. Wreszcie pod koniec 2008 roku aparatura była gotowa do rejestracji, potrzebne było tylko odpowiednie źródło do wytwarzania badanych molekuł (lub rodników) oraz wzbudzania widm elektronowo-oscyłacyjno-rotacyjnych. W tym celu dokonaliśmy własnych modyfikacji znanej konstrukcji⁷ chłodzonej lampy z drażoną katodą i dwiema anodami, uzyskując wydajne i stabilne źródło widm molekularnych, wzbudzanych na zasadzie wyładowania jarzeniowego. Znalezione przez nas trzy tryby pracy lampy umożliwiają uzyskiwanie wysokowzbudzonych widm elektronowo-oscyłacyjno-rotacyjnych rodników i molekuł CH, CH⁺, CD, CD⁺, AlH, AlH⁺, CO, CO⁺ oraz ich odmian izotopowych, których precyzyjna rejestracja w warunkach wysokiej zdolności rozdzielczej oraz szczegółowa analiza, mająca na celu wyznaczenie nowych bądź udokumentowanych parametrów molekularnych badanych cząsteczek i struktury ich stanów elektronowo-rowibronicznych, stanowi trzon pracy naukowo-badawczej całego zespołu w naszym Zakładzie.

Plany naukowo-badawcze na najbliższe lata

W nowobudowanym Centrum Innowacji i Transferu Wiedzy Techniczno-Przyrodniczej Uniwersytetu Rzeszowskiego (planowany termin oddania grudzień 2012) znajdzie się między innymi Pracownia Spektroskopii Molekularnej (w ramach Laboratorium Spektroskopii Materiałów). Podstawowym wyposażeniem aparaturowym pracowni, obok skonstruowanego przeze mnie spektrometru dyspersyjnego, będzie spektrometr fourierowski wysokiej rozdzielczości, sięgającej 0,0035 cm⁻¹, na zakres 1850-50000 cm⁻¹ (jedyne w kraju) oraz stanowisko do badania widm w warunkach naddźwiękowej wiązki molekularnej. Pozwoli to m. in. na laboratoryjne badanie widm molekuł o znaczeniu astrofizycznym w warunkach zbliżonych do tych, jakie panują w przestrzeni kosmicznej. Dzięki adiabatycznemu schłodzeniu plazmy do temperatury rzędu kilku kelwinów możliwe będzie również badanie molekuł wieloatomowych (ich widma w wyższych temperaturach są zbyt skomplikowane, aby można je było zinterpretować). Jesteśmy otwarci na współpracę z innymi ośrodkami naukowymi w kraju, jak i zagranicznymi. W chwili obecnej współpracujemy m. in. z Prof. dr hab. Jackiem Krełowskim z Centrum Astronomii UMK w Toruniu. Wykorzystaniem naszej przyszłej aparatury jest już w tej chwili zainteresowany Prof. dr hab. Włodzimierz Jastrzębski z Instytutu Fizyki PAN w Warszawie. Jestem przekonany, że uruchomienie nowego laboratorium znacząco wpłynie na rozwój naukowy naszego ośrodka.

⁷ R. Bacis, A new source for the search and study of electronic molecular spectra: the composite wall hollow cathode (CWHC), *J. Phys. E: Sci. Instrum.* **9** (1976) 1081-1086.

Pobyty naukowe za granicą

2001/2002 National Research Council of Canada (NRC/CNRC), Ottawa Kanada (stypendium NATO Science Fellowship na prowadzenie badań naukowych w Steacie Institute of Molecular Sciences, w zespole *Spectroscopy Group*, kierowanym przez Dra Benoita Simarda) – 12 miesięcy (z miesięczną przerwą – w połowie okresu trwania stypendium – na kontakt z rodziną).

Wyróżnienia wynikające z prowadzonych badań naukowych

- 1998 Nagroda II stopnia Rektora Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Rzeszowie za osiągnięcia naukowe.
- 2001 Uzyskanie w drodze konkursu (12 miejsce na 22 nagrodzonych) stypendium naukowego NATO Science Fellowship na prowadzenie przez 12 miesięcy badań naukowych z tematu „*Spectroscopic investigation of metal-containing molecules*” w NRC/CNRC w Kanadzie.
- 2007 Nagroda Dziekana Wydziału Matematyczno-Przyrodniczego Uniwersytetu Rzeszowskiego za osiągnięcia w pracy naukowej.

Pełnione funkcje

- 2001 Członek Rady Instytutu Fizyki na Wydziale Matematyczno-Przyrodniczym Uniwersytetu Rzeszowskiego (rezygnacja z mandatu ze względu na wyjazd naukowy do Kanady).
- 2010/2011 p/o Zastępcy Dyrektora Instytutu Fizyki ds. Nauki i Finansów na Wydziale Matematyczno-Przyrodniczym Uniwersytetu Rzeszowskiego.
- od 2011 p/o Kierownika Zakładu Fizyki Atomowej i Molekularnej w Instytucie Fizyki na Wydziale Matematyczno-Przyrodniczym Uniwersytetu Rzeszowskiego.
- od 2011 p/o Kierownika Laboratorium Spektroskopii Materiałów w nowobudowanym Centrum Innowacji i Transferu Wiedzy Techniczno-Przyrodniczej (CiITWTP) Uniwersytetu Rzeszowskiego.
- od 2010 Kierownik Pracowni Spektroskopii Molekularnej w Laboratorium Spektroskopii Materiałów CiITWTP.

Uczestnictwo w organizacjach

od 2005 Członek Polskiego Towarzystwa Agrofizycznego.

Mirosław Zachwieja

