

Warszawa, 13. 01. 2023

Prof. dr hab. Tadeusz Stacewicz  
Instytut Fizyki Doświadczalnej  
Wydział Fizyki  
Uniwersytetu Warszawskiego  
02-093 Warszawa, ul. Pasteura 5

**Recenzja dorobku dr Katarzyny Bielskiej  
z Instytutu Fizyki Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu  
w związku z postępowaniem habilitacyjnym**

## **1. Wstęp**

Dr Katarzyna Bielska uzyskała dyplom magistra fizyki na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika (UMK) w Toruniu w 2007 roku. Tytuł pracy magisterskiej brzmiał: *Rozszerzenie ciśnieniowe składowych nadsubtelnych linii widmowej 326,1 nm  $^{113}\text{Cd}$  zaburzonej argonem i ksenonem*. W roku 2011 na tej samej uczelni obroniła pracę doktorską pt. *Spektroskopowe badania prężności pary nasyconej lodu*. Do czasu uzyskania stopnia doktora była współautorką siedmiu artykułów opublikowanych w indeksowanych czasopismach naukowych i rozdziału w monografii wydanej na Politechnice Wrocławskiej oraz dziewięciu publikacji w materiałach międzynarodowych konferencji naukowych.

Po ukończeniu doktoratu Habilitantka została zatrudniona w UMK na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, w Instytucie Fizyki, w Zakładzie (później Katedrze) Fizyki Atomowej, Molekularnej i Optycznej: do września 2015 roku na stanowisku asystenta, a później adiunkta, gdzie pracuje do dziś. Odebrała także dwu i pół roczny staż naukowy w *National Institute of Standards and Technology* (NIST).

## **2. Ocena osiągnięcia naukowego**

Zgodnie z wymaganiami ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki dr Katarzyna Bielska przedstawiła jako osiągnięcie naukowe monotematyczny cykl pięciu publikacji zatytułowany *Precyzyjna spektroskopia słabych linii widmowych cząsteczek o znaczeniu atmosferycznym*.

Celem tych badań jest uzyskanie jak najdokładniejszych informacji o własnościach wyróżnionych linii widmowych cząsteczek tlenu oraz tlenku i dwutlenku węgla. Dane te są istotne dla kilku zastosowań, między innymi dla zdalnych badań atmosfery. Pomiar transmisji atmosfery na długościach fal pochłanianych przez te związki umożliwia ocenę koncentracji tych molekuł w kolumnie powietrza, a także ciśnienia oraz temperatury. Badania takie są

systematycznie przeprowadzane – czy to z powierzchni Ziemi, czy też z kosmosu. Duże znaczenie mają tutaj słabe linie, gdyż przy obserwacji na odpowiadających im długościach fali nie zachodzi nasycenie absorpcji (t.j. niemal całkowite wyłumienie transmitowanego promieniowania) w wielokilometrowej kolumnie atmosfery. Dlatego istotne jest uzyskanie jak najbardziej dokładnej informacji o częstościach i natężeniach tych linii, a także o ich kształcie przy różnym ciśnieniu i temperaturze. Niezbędne jest operowanie poprawnym modelem formowania się kształtu linii w tych warunkach, a ten może powstać tylko w procesie porównania wyników teorii z danymi z precyzyjnych eksperymentów. Jednak skuteczna obserwacja widm absorpcji promieniowania na słabych liniach w laboratorium wymaga posłużenia się technikami ultraczułymi. Należą do nich pomiary własności absorbera we wnęce optycznej o wysokiej dobroci. Cykl publikacji dotyczący takich właśnie badań został przedstawiony przez dr Katarzynę Bielską jako osiągnięcie naukowe.

W tej spektroskopii wykorzystuje się kilka zjawisk zachodzących we wnęce z absorberem. Między innymi rejestruje się straty dobroci rezonatora wprowadzane przez zawartą w nim materię poprzez pomiar czasu uwięzienia promieniowania (*Cavity Ring – Down Spectroscopy* – CRDS). Na UMK rozwinęto także inne techniki, jak badanie szerokości modu wnęki czy też rejestrację dyspersji wprowadzanej przez absorber.

Prace wchodzące w skład wymienionego osiągnięcia naukowego dotyczą zarówno technik eksperymentalnych opartych o rezonatory optyczne jak i analizy danych przy użyciu zaawansowanych funkcji opisujących kształt linii widmowych. Habilitantka starała się wypracować techniki umożliwiające uzyskanie jak najbardziej precyzyjnych parametrów kształtu tych linii. Publikacje zawierają także wyniki współpracy z teoretykami opracowującymi nowe modele widm absorpcji.

Pierwsza praca (z 2015 r.) dotyczy 27 linii pasma cząsteczki CO<sub>2</sub> zlokalizowanego około 1,6 μm. Pomiary wykonano metodą spektroskopii strat we wnęce z aktywną stabilizacją jej długości z użyciem lasera He-Ne. Uzyskano niepewności natężeń linii rzędu 0,1% i wysoką zgodność z wynikami teoretycznymi – 0,3%. Już jakość tych pomiarów spełniała wymagania stawiane danym wykorzystywanym do interpretacji optycznych pomiarów atmosfery. Jednocześnie artykuł ten potwierdził trafność teoretycznego modelu formowania się kształtu linii. Jego przewidywania można było rozszerzyć na inne linie CO<sub>2</sub>. Badania zostały zrealizowane podczas pobytu Habilitantki na stażu podoktorskim w NIST. Artykuł opublikowano w *Phys. Rev. Lett.*, a dr K. Bielska jest jego drugim autorem. Jej wkład (ujmując skrótowo) polegał na przystosowaniu układu CRDS do pomiarów i uczestnictwie w tych pomiarach, a następnie analizie danych i wyznaczeniu natężeń linii.

Doświadczenia opisane w publikacjach omawianych poniżej (2 – 5) zostały wykonane w UMK, a Habilitantka jest w nich pierwszym autorem.

Druga z prac wchodzących w skład omawianego osiągnięcia naukowego (2017 r.) dotyczyła wyznaczenia położenia dwóch rozszerzonych dopplerowsko linii widmowych z pasma B tlenu molekularnego. Linie te, powstające wskutek przejść magnetycznych – dipolowych, charakteryzują się natężeniami mniejszymi niż  $6 \cdot 10^{-25}$  cm, co uniemożliwia zastosowanie technik pomiaru innych niż CRDS. Wyniki zostały odniesione do zegara atomowego na izotopie  $^{88}\text{Sr}$  sprzężonego ze spektrometrem CRDS za pośrednictwem grzebienia optycznego. Umożliwiło to wyznaczenie ich położenia z niepewnością 8,2 kHz. Zaprezentowano w nim jedno z pierwszych (o ile nie pierwsze) wykorzystanie optycznego zegara atomowego jako wzorca częstotliwości do pomiarów położenia linii widmowych w spektroskopii molekularnej. Habilitantka wykonała i oprogramowała część aparatury umożliwiającą powiązanie częstotliwości widm z zegarem atomowym. Zrealizowała większość pomiarów i dokonała analizy danych doświadczalnych oraz przygotowała wyniki do publikacji.

Trzecia praca (2021 r.) również dotyczy pasma B tlenu. Uzyskano w niej wyższą precyzję pomiaru kształtu linii (0,2%) niż w poprzednich pomiarach dzięki użyciu spektroskopii strat we wnęcie optycznej ale także i pomiarom szerokości modu wnęki. Wyższa dokładność pomiarów wymagała użycia bardziej zaawansowanego modelu kształtu linii widmowych (uwzględniającego efekty zależności od prędkości molekuly oraz zwiężenia Dickego) by uzyskać zgodność teorii z doświadczeniami. Ciekawym i nowym efektem było także zaobserwowanie zmiany współczynnika odbicia zwierciadeł wnęki w wiązkach światła o wysokiej mocy. Udział dr K. Bielskiej polegał na opracowaniu koncepcji przebudowy spektrometru i współpracy przy jego przebudowie. Opracowała też plan pomiarów, wykonała ich część, przeprowadziła analizę uzyskanych danych i przygotowała wyniki do publikacji.

W następnej pracy (również 2021 r.) wyznaczono położenia linii tlenu węgla z dokładnością około 500 Hz za pomocą spektroskopii nasyceniowej. Pomiary zostały przeprowadzone poprzez obserwację dyspersji optycznej we wnęcie. Wykazano, że w warunkach nasycenia optycznego technika ta ma przewagę nad CRDS oraz spektroskopią szerokości modu wnęki. Habilitantka zaplanowała pomiary i zrealizowała większość z nich. Miała większościowy udział w analizie danych doświadczalnych, w tym w dopasowaniu położenia dipu Lamba do kształtu modu wnęki i czasu zaniku w niej promieniowania oraz w przygotowaniu wyników do publikacji i opracowaniu jej tekstu

W ostatniej pracy wchodzącej w skład omawianego osiągnięcia naukowego zrealizowano pomiar natężeń linii CO z precyzją wynoszącą 1‰ (gdy standardowo nie jest ona lepsza niż 1 - 20%). Zastosowano również technikę pomiaru dyspersji optycznej we wnętrzu. Porównano te wyniki z rezultatami równoległe otrzymanymi za pomocą CRDS w NIST oraz przy użyciu spektrometru fourierowskiego w Physikalische Technische Bundesanstalt. Stwierdzono niespotykaną do tej pory 1‰ zgodność danych uzyskanych w tych trzech laboratoriach za pomocą różnych technik, jak również podobną zgodność z obliczeniami teoretycznymi wykonanymi w grupie z University College London. Poza rekordowym osiągnięciem z zakresu molekularnej spektroskopii laserowej wynik ten jest bardzo istotnym osiągnięciem dla geofizycznych badań atmosfery Ziemi i innych ciał niebieskich. Tak dokładne badania stymulowały też *ab initio* obliczenia teoretycznych modeli kształtu linii – a tym samym postęp w tej dziedzinie. W doświadczeniu tym Habilitantka współdziałała w doborze warunków pomiarowych, zrealizowała większość pomiarów oraz analiz danych. Koordynowała ze strony UMK współpracę z autorami z pozostałych ośrodków naukowych.

Wspomniane artykuły wydrukowane zostały w latach 2015 – 2022, w czasopismach naukowych o wysokim współczynniku *impact factor*: *Phys. Rev. Lett* (art. 1 i 5), *J. Quant. Spectrosc. Radiat* (art. 2 i 3) i *Optics Express* (art. 4).

Uważam, że przedstawione przez dr Katarzynę Bielską osiągnięcie naukowe dobrze spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. W pracach tych jej rola była wiodąca. Publikacje są nowatorskie, indukują postęp w dziedzinie teorii kształtu linii widmowych. Zostały wydrukowane w czasopismach wysoko cenionych przez fizyków, a przy tym artykuły 4 i 5 zostały wyróżnione przez redakcje.

### **3. Ocena pozostałego dorobku naukowego (po uzyskaniu stopnia doktora)**

Po roku 2011 dr K. Bielska opublikowała 16 innych artykułów naukowych (łącznie 21), które nie zostały ujęte, jako prace związane z postępowaniem habilitacyjnym. Artykuły te zostały wydrukowane w indeksowanych czasopismach naukowych, w większości o wysokich współczynnikach *impact factor*. Ogółem, do czasu złożenia dokumentów przewodu habilitacyjnego, t.j. do września 2022, roku, jej publikacje były cytowane 613 razy, w tym 540 razy bez autocytowań. Obecnie – 6. 01. 2023 - w Web of Science wykazane są łącznie 42 artykuły habilitantki, 634 cytowania, w tym 560 bez autocytowań. Jej indeks Hirscha wynosi 14. W wymienionych powyżej pracach dr Katarzyna Bielska uczestniczyła

nie tylko jako pomysłodawca doświadczeń, projektant i budowniczy aparatury, ale także jako interpretator wyników eksperymentów i autor metod dopasowania rezultatów do modeli teoretycznych.

Po doktoracie Habilitantka opublikowała także 6 artykułów konferencyjnych. Wygłosiła 7 zaproszonych referatów podczas międzynarodowych konferencji naukowych. Ponadto zaprezentowała 7 komunikatów, głównie podczas konferencji międzynarodowych. Pracowała w Komitecie organizacyjnym *23rd International Conference on Spectral Line Shapes* w Toruniu (2016 r.).

W latach 2012 – 2014 odbyła dwu i pół roczny staż naukowy w NIST (Materials Measurement Division, Gaithersburg MD, USA).

Analiza całości dorobku naukowego prowadzi do wniosku, że po uzyskaniu stopnia doktora aktywność naukowa dr Katarzyny Bielskiej istotnie zwiększyła się. Za tę działalność była nagradzana zarówno na UMK jak i w NIST.

#### **4. Ocena dorobku organizacyjnego i dydaktycznego**

Dr Katarzyna Bielska wykazuje się także aktywną działalnością na rzecz swojego środowiska. W latach 2011 – 2019 była wykonawcą trzech grantów badawczych, a w latach 2015 – 2019 kierowała projektem Sonata 8. Obecnie kieruje grantem Sonata Bis 8 pt. *Precyzyjna i dokładna spektroskopia słabych linii molekularnych gazów atmosferycznych* (NCN), który będzie realizowany do roku 2024. Poza tym jest wykonawcą trzech innych projektów.

Dr K. Bielska recenzowała 10 artykułów naukowych dla czasopism takich jak *Optics Express*, *Applied Physics B* i *Journal of Physics*.

Bardzo bogaty i świadczący o wszechstronności jest dorobek dydaktyczny dr Katarzyny Bielskiej. Prowadziła wiele różnorodnych zajęć, w tym ćwiczenia z matematyki i fizyki (przed doktoratem), ćwiczenia z analizy matematycznej, zajęcia laboratoryjne z fizyki i elektroniki, ćwiczenia i wykład z metod pomiarowych i analizy danych oraz wykład z fizyki i technologii próżni. Opiekowała się jedną pracą inżynierską i jedną licencjacką. Obecnie jest promotorem pomocniczym jednej pracy doktorskiej.

Od samego początku swej działalności na UMK Habilitantka włączała się w prace związane z popularyzacją nauki. Wymienić tu należy organizację akcji dni otwartych „Dziewczyny do Ścisłych”, a także wystawy i wykłady dla szerokiej publiczności, w tym uczniów i nauczycieli.

#### **5. Podsumowanie**

Przedstawione powyżej liczby i fakty świadczą, że dr Katarzyna Bielska jest wysokiej klasy aktywnym pracownikiem naukowym. Fakt, że jest ona głównym autorem artykułów naukowych dotyczących nowatorskich badań z zakresu ultraprecyzyjnych pomiarów kształtu linii spektralnych świadczy o tym, że jest specjalistą w tej dziedzinie cenionym w środowisku naukowym. Analiza jej dorobku naukowego upewnia jednocześnie, że ma ona także szeroką wiedzę w zakresie pozostałych gałęzi optyki. Bardzo wysoko należy ocenić jej zdolności w zakresie eksperymentu naukowego oraz interpretacji wyników. Niemniej cenne jest to, że wyniki przedstawionych przez nią prac doświadczalnych stymulowały postęp w zakresie teorii kształtu linii widmowych.

Habilitantka miała spory dorobek przed uzyskaniem stopnia doktora nauk, ale wyraźnie widoczny jest wzrost jej aktywności po roku 2011. Sądzę, że działalność i osiągnięcia naukowe dr K. Bielskiej wystawiają jej bardzo dobre świadectwo i wyczerpują wymagania stawiane przyszłym doktorom habilitowanym.

Sam cykl publikacji, stanowiący wymagane przez ustawę osiągnięcie naukowe, uważam za bardzo dobry, zawierający wiele ważnego materiału dla współczesnej spektroskopii, a także mający związek z najbardziej aktualnymi jego zastosowaniami w innych dziedzinach nauki, jak fizyka atmosfery. Artykuły wchodzące w skład tego dzieła zostały także wysoko ocenione przez recenzentów znakomitych czasopism, cieszących się najwyższym uznaniem w środowisku fizyków jak np. *Physical Review Letters* czy *Optics Express*.

Podsumowując, stwierdzam jednoznacznie, że w mojej opinii dr Katarzyna Bielska spełnia ustawowe i zwyczajowe wymogi związane z nadaniem stopnia naukowego doktora habilitowanego. Widoczny jest systematyczny rozwój naukowy Habilitantki, która regularnie publikuje wyniki swoich prac na łamach wiodących czasopism z listy filadelfijskiej, a także bierze czynny udział w działalności organizacyjnej, dydaktycznej i popularyzatorskiej. Wniosuję o dopuszczenie kandydatki do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego.

Tadeusz Stacewicz

Warszawa, 13. 01. 2023

Prof. dr hab. Tadeusz Stacewicz  
Instytut Fizyki Doświadczalnej  
Wydział Fizyki  
Uniwersytetu Warszawskiego  
02-093 Warszawa, ul. Pasteura 5

**Recenzja dorobku dr Katarzyny Bielskiej  
z Instytutu Fizyki Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu  
w związku z postępowaniem habilitacyjnym**

## **1. Wstęp**

Dr Katarzyna Bielska uzyskała dyplom magistra fizyki na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika (UMK) w Toruniu w 2007 roku. Tytuł pracy magisterskiej brzmiał: *Rozszerzenie ciśnieniowe składowych nadsubtelnych linii widmowej 326,1 nm  $^{113}\text{Cd}$  zaburzonej argonem i ksenonem*. W roku 2011 na tej samej uczelni obroniła pracę doktorską pt. *Spektroskopowe badania prężności pary nasyconej lodu*. Do czasu uzyskania stopnia doktora była współautorką siedmiu artykułów opublikowanych w indeksowanych czasopismach naukowych i rozdziału w monografii wydanej na Politechnice Wrocławskiej oraz dziewięciu publikacji w materiałach międzynarodowych konferencji naukowych.

Po ukończeniu doktoratu Habilitantka została zatrudniona w UMK na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, w Instytucie Fizyki, w Zakładzie (później Katedrze) Fizyki Atomowej, Molekularnej i Optycznej: do września 2015 roku na stanowisku asystenta, a później adiunkta, gdzie pracuje do dziś. Odebrała także dwu i pół roczny staż naukowy w *National Institute of Standards and Technology* (NIST).

## **2. Ocena osiągnięcia naukowego**

Zgodnie z wymaganiami ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki dr Katarzyna Bielska przedstawiła jako osiągnięcie naukowe monotematyczny cykl pięciu publikacji zatytułowany *Precyzyjna spektroskopia słabych linii widmowych cząsteczek o znaczeniu atmosferycznym*.

Celem tych badań jest uzyskanie jak najdokładniejszych informacji o własnościach wyróżnionych linii widmowych cząsteczek tlenu oraz tlenku i dwutlenku węgla. Dane te są istotne dla kilku zastosowań, między innymi dla zdalnych badań atmosfery. Pomiar transmisji atmosfery na długościach fal pochłanianych przez te związki umożliwia ocenę koncentracji tych molekuł w kolumnie powietrza, a także ciśnienia oraz temperatury. Badania takie są

systematycznie przeprowadzane – czy to z powierzchni Ziemi, czy też z kosmosu. Duże znaczenie mają tutaj słabe linie, gdyż przy obserwacji na odpowiadających im długościach fali nie zachodzi nasycenie absorpcji (t.j. niemal całkowite wyłumienie transmitowanego promieniowania) w wielokilometrowej kolumnie atmosfery. Dlatego istotne jest uzyskanie jak najbardziej dokładnej informacji o częstościach i natężeniach tych linii, a także o ich kształcie przy różnym ciśnieniu i temperaturze. Niezbędne jest operowanie poprawnym modelem formowania się kształtu linii w tych warunkach, a ten może powstać tylko w procesie porównania wyników teorii z danymi z precyzyjnych eksperymentów. Jednak skuteczna obserwacja widm absorpcji promieniowania na słabych liniach w laboratorium wymaga posłużenia się technikami ultraczułymi. Należą do nich pomiary własności absorbera we wnęce optycznej o wysokiej dobroci. Cykl publikacji dotyczący takich właśnie badań został przedstawiony przez dr Katarzynę Bielską jako osiągnięcie naukowe.

W tej spektroskopii wykorzystuje się kilka zjawisk zachodzących we wnęce z absorberem. Między innymi rejestruje się straty dobroci rezonatora wprowadzane przez zawartą w nim materię poprzez pomiar czasu uwięzienia promieniowania (*Cavity Ring – Down Spectroscopy – CRDS*). Na UMK rozwinęto także inne techniki, jak badanie szerokości modu wnęki czy też rejestrację dyspersji wprowadzanej przez absorber.

Prace wchodzące w skład wymienionego osiągnięcia naukowego dotyczą zarówno technik eksperymentalnych opartych o rezonatory optyczne jak i analizy danych przy użyciu zaawansowanych funkcji opisujących kształt linii widmowych. Habilitantka starała się wypracować techniki umożliwiające uzyskanie jak najbardziej precyzyjnych parametrów kształtu tych linii. Publikacje zawierają także wyniki współpracy z teoretykami opracowującymi nowe modele widm absorpcji.

Pierwsza praca (z 2015 r.) dotyczy 27 linii pasma cząsteczki CO<sub>2</sub> zlokalizowanego około 1,6 μm. Pomiary wykonano metodą spektroskopii strat we wnęce z aktywną stabilizacją jej długości z użyciem lasera He-Ne. Uzyskano niepewności natężeń linii rzędu 0,1% i wysoką zgodność z wynikami teoretycznymi – 0,3%. Już jakość tych pomiarów spełniała wymagania stawiane danym wykorzystywanym do interpretacji optycznych pomiarów atmosfery. Jednocześnie artykuł ten potwierdził trafność teoretycznego modelu formowania się kształtu linii. Jego przewidywania można było rozszerzyć na inne linie CO<sub>2</sub>. Badania zostały zrealizowane podczas pobytu Habilitantki na stażu podoktorskim w NIST. Artykuł opublikowano w *Phys. Rev. Lett.*, a dr K. Bielska jest jego drugim autorem. Jej wkład (ujmując skrótowo) polegał na przystosowaniu układu CRDS do pomiarów i uczestnictwie w tych pomiarach, a następnie analizie danych i wyznaczeniu natężeń linii.



Doświadczenia opisane w publikacjach omawianych poniżej (2 – 5) zostały wykonane w UMK, a Habilitantka jest w nich pierwszym autorem.

Druga z prac wchodzących w skład omawianego osiągnięcia naukowego (2017 r.) dotyczyła wyznaczenia położenia dwóch rozszerzonych dopplerowsko linii widmowych z pasma B tlenu molekularnego. Linie te, powstające wskutek przejść magnetycznych – dipolowych, charakteryzują się natężeniami mniejszymi niż  $6 \cdot 10^{-25}$  cm, co uniemożliwia zastosowanie technik pomiaru innych niż CRDS. Wyniki zostały odniesione do zegara atomowego na izotopie  $^{88}\text{Sr}$  sprzężonego ze spektrometrem CRDS za pośrednictwem grzebienia optycznego. Umożliwiło to wyznaczenie ich położenia z niepewnością 8,2 kHz. Zaprezentowano w nim jedno z pierwszych (o ile nie pierwsze) wykorzystanie optycznego zegara atomowego jako wzorca częstotliwości do pomiarów położenia linii widmowych w spektroskopii molekularnej. Habilitantka wykonała i oprogramowała część aparatury umożliwiającą powiązanie częstotliwości widm z zegarem atomowym. Zrealizowała większość pomiarów i dokonała analizy danych doświadczalnych oraz przygotowała wyniki do publikacji.

Trzecia praca (2021 r.) również dotyczy pasma B tlenu. Uzyskano w niej wyższą precyzję pomiaru kształtu linii (0,2%) niż w poprzednich pomiarach dzięki użyciu spektroskopii strat we wnęcie optycznej ale także i pomiarom szerokości modu wnęki. Wyższa dokładność pomiarów wymagała użycia bardziej zaawansowanego modelu kształtu linii widmowych (uwzględniającego efekty zależności od prędkości molekuly oraz zwiężenia Dickego) by uzyskać zgodność teorii z doświadczeniem. Ciekawym i nowym efektem było także zaobserwowanie zmiany współczynnika odbicia zwierciadeł wnęki w wiązkach światła o wysokiej mocy. Udział dr K. Bielskiej polegał na opracowaniu koncepcji przebudowy spektrometru i współpracy przy jego przebudowie. Opracowała też plan pomiarów, wykonała ich część, przeprowadziła analizę uzyskanych danych i przygotowała wyniki do publikacji.

W następnej pracy (również 2021 r.) wyznaczono położenia linii tlenu węgla z dokładnością około 500 Hz za pomocą spektroskopii nasyceniowej. Pomiary zostały przeprowadzone poprzez obserwację dyspersji optycznej we wnęcie. Wykazano, że w warunkach nasycenia optycznego technika ta ma przewagę nad CRDS oraz spektroskopią szerokości modu wnęki. Habilitantka zaplanowała pomiary i zrealizowała większość z nich. Miała większościowy udział w analizie danych doświadczalnych, w tym w dopasowaniu położenia dipu Lamba do kształtu modu wnęki i czasu zaniku w niej promieniowania oraz w przygotowaniu wyników do publikacji i opracowaniu jej tekstu

W ostatniej pracy wchodzącej w skład omawianego osiągnięcia naukowego zrealizowano pomiar natężeń linii CO z precyzją wynoszącą 1‰ (gdy standardowo nie jest ona lepsza niż 1 - 20%). Zastosowano również technikę pomiaru dyspersji optycznej we wnętrzu. Porównano te wyniki z rezultatami równoległe otrzymanymi za pomocą CRDS w NIST oraz przy użyciu spektrometru fourierowskiego w Physikalische Technische Bundesanstalt. Stwierdzono niespotykaną do tej pory 1‰ zgodność danych uzyskanych w tych trzech laboratoriach za pomocą różnych technik, jak również podobną zgodność z obliczeniami teoretycznymi wykonanymi w grupie z University College London. Poza rekordowym osiągnięciem z zakresu molekularnej spektroskopii laserowej wynik ten jest bardzo istotnym osiągnięciem dla geofizycznych badań atmosfery Ziemi i innych ciał niebieskich. Tak dokładne badania stymulowały też *ab initio* obliczenia teoretycznych modeli kształtu linii – a tym samym postęp w tej dziedzinie. W doświadczeniu tym Habilitantka współdziałała w doborze warunków pomiarowych, zrealizowała większość pomiarów oraz analiz danych. Koordynowała ze strony UMK współpracę z autorami z pozostałych ośrodków naukowych.

Wspomniane artykuły wydrukowane zostały w latach 2015 – 2022, w czasopismach naukowych o wysokim współczynniku *impact factor*: *Phys. Rev. Lett* (art. 1 i 5), *J. Quant. Spectrosc. Radiat* (art. 2 i 3) i *Optics Express* (art. 4).

Uważam, że przedstawione przez dr Katarzynę Bielską osiągnięcie naukowe dobrze spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. W pracach tych jej rola była wiodąca. Publikacje są nowatorskie, indukują postęp w dziedzinie teorii kształtu linii widmowych. Zostały wydrukowane w czasopismach wysoko cenionych przez fizyków, a przy tym artykuły 4 i 5 zostały wyróżnione przez redakcje.

### **3. Ocena pozostałego dorobku naukowego (po uzyskaniu stopnia doktora)**

Po roku 2011 dr K. Bielska opublikowała 16 innych artykułów naukowych (łącznie 21), które nie zostały ujęte, jako prace związane z postępowaniem habilitacyjnym. Artykuły te zostały wydrukowane w indeksowanych czasopismach naukowych, w większości o wysokich współczynnikach *impact factor*. Ogółem, do czasu złożenia dokumentów przewodu habilitacyjnego, t.j. do września 2022, roku, jej publikacje były cytowane 613 razy, w tym 540 razy bez autocytowań. Obecnie – 6. 01. 2023 - w Web of Science wykazane są łącznie 42 artykuły habilitantki, 634 cytowania, w tym 560 bez autocytowań. Jej indeks Hirscha wynosi 14. W wymienionych powyżej pracach dr Katarzyna Bielska uczestniczyła

nie tylko jako pomysłodawca doświadczeń, projektant i budowniczy aparatury, ale także jako interpretator wyników eksperymentów i autor metod dopasowania rezultatów do modeli teoretycznych.

Po doktoracie Habilitantka opublikowała także 6 artykułów konferencyjnych. Wygłosiła 7 zaproszonych referatów podczas międzynarodowych konferencji naukowych. Ponadto zaprezentowała 7 komunikatów, głównie podczas konferencji międzynarodowych. Pracowała w Komitecie organizacyjnym *23rd International Conference on Spectral Line Shapes* w Toruniu (2016 r.).

W latach 2012 – 2014 odbyła dwu i pół roczny staż naukowy w NIST (Materials Measurement Division, Gaithersburg MD, USA).

Analiza całości dorobku naukowego prowadzi do wniosku, że po uzyskaniu stopnia doktora aktywność naukowa dr Katarzyny Bielskiej istotnie zwiększyła się. Za tę działalność była nagradzana zarówno na UMK jak i w NIST.

#### **4. Ocena dorobku organizacyjnego i dydaktycznego**

Dr Katarzyna Bielska wykazuje się także aktywną działalnością na rzecz swojego środowiska. W latach 2011 – 2019 była wykonawcą trzech grantów badawczych, a w latach 2015 – 2019 kierowała projektem Sonata 8. Obecnie kieruje grantem Sonata Bis 8 pt. *Precyzyjna i dokładna spektroskopia słabych linii molekularnych gazów atmosferycznych* (NCN), który będzie realizowany do roku 2024. Poza tym jest wykonawcą trzech innych projektów.

Dr K. Bielska recenzowała 10 artykułów naukowych dla czasopism takich jak *Optics Express*, *Applied Physics B* i *Journal of Physics*.

Bardzo bogaty i świadczący o wszechstronności jest dorobek dydaktyczny dr Katarzyny Bielskiej. Prowadziła wiele różnorodnych zajęć, w tym ćwiczenia z matematyki i fizyki (przed doktoratem), ćwiczenia z analizy matematycznej, zajęcia laboratoryjne z fizyki i elektroniki, ćwiczenia i wykład z metod pomiarowych i analizy danych oraz wykład z fizyki i technologii próżni. Opiekowała się jedną pracą inżynierską i jedną licencjacką. Obecnie jest promotorem pomocniczym jednej pracy doktorskiej.

Od samego początku swej działalności na UMK Habilitantka włączała się w prace związane z popularyzacją nauki. Wymienić tu należy organizację akcji dni otwartych „Dziewczyny do Ścisłych”, a także wystawy i wykłady dla szerokiej publiczności, w tym uczniów i nauczycieli.

#### **5. Podsumowanie**

Przedstawione powyżej liczby i fakty świadczą, że dr Katarzyna Bielska jest wysokiej klasy aktywnym pracownikiem naukowym. Fakt, że jest ona głównym autorem artykułów naukowych dotyczących nowatorskich badań z zakresu ultraprecyzyjnych pomiarów kształtu linii spektralnych świadczy o tym, że jest specjalistą w tej dziedzinie cenionym w środowisku naukowym. Analiza jej dorobku naukowego upewnia jednocześnie, że ma ona także szeroką wiedzę w zakresie pozostałych gałęzi optyki. Bardzo wysoko należy ocenić jej zdolności w zakresie eksperymentu naukowego oraz interpretacji wyników. Niemniej cenne jest to, że wyniki przedstawionych przez nią prac doświadczalnych stymulowały postęp w zakresie teorii kształtu linii widmowych.

Habilitantka miała spory dorobek przed uzyskaniem stopnia doktora nauk, ale wyraźnie widoczny jest wzrost jej aktywności po roku 2011. Sądzę, że działalność i osiągnięcia naukowe dr K. Bielskiej wystawiają jej bardzo dobre świadectwo i wyczerpują wymagania stawiane przyszłym doktorom habilitowanym.

Sam cykl publikacji, stanowiący wymagane przez ustawę osiągnięcie naukowe, uważam za bardzo dobry, zawierający wiele ważnego materiału dla współczesnej spektroskopii, a także mający związek z najbardziej aktualnymi jego zastosowaniami w innych dziedzinach nauki, jak fizyka atmosfery. Artykuły wchodzące w skład tego dzieła zostały także wysoko ocenione przez recenzentów znakomitych czasopism, cieszących się najwyższym uznaniem w środowisku fizyków jak np. *Physical Review Letters* czy *Optics Express*.

Podsumowując, stwierdzam jednoznacznie, że w mojej opinii dr Katarzyna Bielska spełnia ustawowe i zwyczajowe wymogi związane z nadaniem stopnia naukowego doktora habilitowanego. Widoczny jest systematyczny rozwój naukowy Habilitantki, która regularnie publikuje wyniki swoich prac na łamach wiodących czasopism z listy filadelfijskiej, a także bierze czynny udział w działalności organizacyjnej, dydaktycznej i popularyzatorskiej. Wniosuję o dopuszczenie kandydatki do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego.

Tadeusz Stacewicz

Warszawa, 13. 01. 2023

Prof. dr hab. Tadeusz Stacewicz  
Instytut Fizyki Doświadczalnej  
Wydział Fizyki  
Uniwersytetu Warszawskiego  
02-093 Warszawa, ul. Pasteura 5

**Recenzja dorobku dr Katarzyny Bielskiej  
z Instytutu Fizyki Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu  
w związku z postępowaniem habilitacyjnym**

## **1. Wstęp**

Dr Katarzyna Bielska uzyskała dyplom magistra fizyki na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika (UMK) w Toruniu w 2007 roku. Tytuł pracy magisterskiej brzmiał: *Rozszerzenie ciśnieniowe składowych nadsubtelnych linii widmowej 326,1 nm  $^{113}\text{Cd}$  zaburzonej argonem i ksenonem*. W roku 2011 na tej samej uczelni obroniła pracę doktorską pt. *Spektroskopowe badania prężności pary nasyconej lodu*. Do czasu uzyskania stopnia doktora była współautorką siedmiu artykułów opublikowanych w indeksowanych czasopismach naukowych i rozdziału w monografii wydanej na Politechnice Wrocławskiej oraz dziewięciu publikacji w materiałach międzynarodowych konferencji naukowych.

Po ukończeniu doktoratu Habilitantka została zatrudniona w UMK na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, w Instytucie Fizyki, w Zakładzie (później Katedrze) Fizyki Atomowej, Molekularnej i Optycznej: do września 2015 roku na stanowisku asystenta, a później adiunkta, gdzie pracuje do dziś. Odebrała także dwu i pół roczny staż naukowy w *National Institute of Standards and Technology* (NIST).

## **2. Ocena osiągnięcia naukowego**

Zgodnie z wymaganiami ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki dr Katarzyna Bielska przedstawiła jako osiągnięcie naukowe monotematyczny cykl pięciu publikacji zatytułowany *Precyzyjna spektroskopia słabych linii widmowych cząsteczek o znaczeniu atmosferycznym*.

Celem tych badań jest uzyskanie jak najdokładniejszych informacji o własnościach wyróżnionych linii widmowych cząsteczek tlenu oraz tlenku i dwutlenku węgla. Dane te są istotne dla kilku zastosowań, między innymi dla zdalnych badań atmosfery. Pomiar transmisji atmosfery na długościach fal pochłanianych przez te związki umożliwia ocenę koncentracji tych molekuł w kolumnie powietrza, a także ciśnienia oraz temperatury. Badania takie są

systematycznie przeprowadzane – czy to z powierzchni Ziemi, czy też z kosmosu. Duże znaczenie mają tutaj słabe linie, gdyż przy obserwacji na odpowiadających im długościach fali nie zachodzi nasycenie absorpcji (t.j. niemal całkowite wyłumienie transmitowanego promieniowania) w wielokilometrowej kolumnie atmosfery. Dlatego istotne jest uzyskanie jak najbardziej dokładnej informacji o częstościach i natężeniach tych linii, a także o ich kształcie przy różnym ciśnieniu i temperaturze. Niezbędne jest operowanie poprawnym modelem formowania się kształtu linii w tych warunkach, a ten może powstać tylko w procesie porównania wyników teorii z danymi z precyzyjnych eksperymentów. Jednak skuteczna obserwacja widm absorpcji promieniowania na słabych liniach w laboratorium wymaga posłużenia się technikami ultraczułymi. Należą do nich pomiary własności absorbera we wnęce optycznej o wysokiej dobroci. Cykl publikacji dotyczący takich właśnie badań został przedstawiony przez dr Katarzynę Bielską jako osiągnięcie naukowe.

W tej spektroskopii wykorzystuje się kilka zjawisk zachodzących we wnęce z absorberem. Między innymi rejestruje się straty dobroci rezonatora wprowadzane przez zawartą w nim materię poprzez pomiar czasu uwięzienia promieniowania (*Cavity Ring – Down Spectroscopy – CRDS*). Na UMK rozwinęto także inne techniki, jak badanie szerokości modu wnęki czy też rejestrację dyspersji wprowadzanej przez absorber.

Prace wchodzące w skład wymienionego osiągnięcia naukowego dotyczą zarówno technik eksperymentalnych opartych o rezonatory optyczne jak i analizy danych przy użyciu zaawansowanych funkcji opisujących kształt linii widmowych. Habilitantka starała się wypracować techniki umożliwiające uzyskanie jak najbardziej precyzyjnych parametrów kształtu tych linii. Publikacje zawierają także wyniki współpracy z teoretykami opracowującymi nowe modele widm absorpcji.

Pierwsza praca (z 2015 r.) dotyczy 27 linii pasma cząsteczki CO<sub>2</sub> zlokalizowanego około 1,6 μm. Pomiary wykonano metodą spektroskopii strat we wnęce z aktywną stabilizacją jej długości z użyciem lasera He-Ne. Uzyskano niepewności natężeń linii rzędu 0,1% i wysoką zgodność z wynikami teoretycznymi – 0,3%. Już jakość tych pomiarów spełniała wymagania stawiane danym wykorzystywanym do interpretacji optycznych pomiarów atmosfery. Jednocześnie artykuł ten potwierdził trafność teoretycznego modelu formowania się kształtu linii. Jego przewidywania można było rozszerzyć na inne linie CO<sub>2</sub>. Badania zostały zrealizowane podczas pobytu Habilitantki na stażu podoktorskim w NIST. Artykuł opublikowano w *Phys. Rev. Lett.*, a dr K. Bielska jest jego drugim autorem. Jej wkład (ujmując skrótowo) polegał na przystosowaniu układu CRDS do pomiarów i uczestnictwie w tych pomiarach, a następnie analizie danych i wyznaczeniu natężeń linii.

Doświadczenia opisane w publikacjach omawianych poniżej (2 – 5) zostały wykonane w UMK, a Habilitantka jest w nich pierwszym autorem.

Druga z prac wchodzących w skład omawianego osiągnięcia naukowego (2017 r.) dotyczyła wyznaczenia położenia dwóch rozszerzonych dopplerowsko linii widmowych z pasma B tlenu molekularnego. Linie te, powstające wskutek przejść magnetycznych – dipolowych, charakteryzują się natężeniami mniejszymi niż  $6 \cdot 10^{-25}$  cm, co uniemożliwia zastosowanie technik pomiaru innych niż CRDS. Wyniki zostały odniesione do zegara atomowego na izotopie  $^{88}\text{Sr}$  sprzężonego ze spektrometrem CRDS za pośrednictwem grzebienia optycznego. Umożliwiło to wyznaczenie ich położenia z niepewnością 8,2 kHz. Zaprezentowano w nim jedno z pierwszych (o ile nie pierwsze) wykorzystanie optycznego zegara atomowego jako wzorca częstotliwości do pomiarów położenia linii widmowych w spektroskopii molekularnej. Habilitantka wykonała i oprogramowała część aparatury umożliwiającą powiązanie częstotliwości widm z zegarem atomowym. Zrealizowała większość pomiarów i dokonała analizy danych doświadczalnych oraz przygotowała wyniki do publikacji.

Trzecia praca (2021 r.) również dotyczy pasma B tlenu. Uzyskano w niej wyższą precyzję pomiaru kształtu linii (0,2%) niż w poprzednich pomiarach dzięki użyciu spektroskopii strat we wnęce optycznej ale także i pomiarom szerokości modu wnęki. Wyższa dokładność pomiarów wymagała użycia bardziej zaawansowanego modelu kształtu linii widmowych (uwzględniającego efekty zależności od prędkości molekuly oraz zwiężenia Dickego) by uzyskać zgodność teorii z doświadczeniami. Ciekawym i nowym efektem było także zaobserwowanie zmiany współczynnika odbicia zwierciadeł wnęki w wiązkach światła o wysokiej mocy. Udział dr K. Bielskiej polegał na opracowaniu koncepcji przebudowy spektrometru i współpracy przy jego przebudowie. Opracowała też plan pomiarów, wykonała ich część, przeprowadziła analizę uzyskanych danych i przygotowała wyniki do publikacji.

W następnej pracy (również 2021 r.) wyznaczono położenia linii tlenu węgla z dokładnością około 500 Hz za pomocą spektroskopii nasyceniowej. Pomiary zostały przeprowadzone poprzez obserwację dyspersji optycznej we wnęce. Wykazano, że w warunkach nasycenia optycznego technika ta ma przewagę nad CRDS oraz spektroskopią szerokości modu wnęki. Habilitantka zaplanowała pomiary i zrealizowała większość z nich. Miała większościowy udział w analizie danych doświadczalnych, w tym w dopasowaniu położenia dipu Lamba do kształtu modu wnęki i czasu zaniku w niej promieniowania oraz w przygotowaniu wyników do publikacji i opracowaniu jej tekstu

W ostatniej pracy wchodzącej w skład omawianego osiągnięcia naukowego zrealizowano pomiar natężeń linii CO z precyzją wynoszącą 1‰ (gdy standardowo nie jest ona lepsza niż 1 - 20%). Zastosowano również technikę pomiaru dyspersji optycznej we wnętrzu. Porównano te wyniki z rezultatami równoległe otrzymanymi za pomocą CRDS w NIST oraz przy użyciu spektrometru fourierowskiego w Physikalische Technische Bundesanstalt. Stwierdzono niespotykaną do tej pory 1‰ zgodność danych uzyskanych w tych trzech laboratoriach za pomocą różnych technik, jak również podobną zgodność z obliczeniami teoretycznymi wykonanymi w grupie z University College London. Poza rekordowym osiągnięciem z zakresu molekularnej spektroskopii laserowej wynik ten jest bardzo istotnym osiągnięciem dla geofizycznych badań atmosfery Ziemi i innych ciał niebieskich. Tak dokładne badania stymulowały też *ab initio* obliczenia teoretycznych modeli kształtu linii – a tym samym postęp w tej dziedzinie. W doświadczeniu tym Habilitantka współdziałała w doborze warunków pomiarowych, zrealizowała większość pomiarów oraz analiz danych. Koordynowała ze strony UMK współpracę z autorami z pozostałych ośrodków naukowych.

Wspomniane artykuły wydrukowane zostały w latach 2015 – 2022, w czasopismach naukowych o wysokim współczynniku *impact factor*: *Phys. Rev. Lett* (art. 1 i 5), *J. Quant. Spectrosc. Radiat* (art. 2 i 3) i *Optics Express* (art. 4).

Uważam, że przedstawione przez dr Katarzynę Bielską osiągnięcie naukowe dobrze spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. W pracach tych jej rola była wiodąca. Publikacje są nowatorskie, indukują postęp w dziedzinie teorii kształtu linii widmowych. Zostały wydrukowane w czasopismach wysoko cenionych przez fizyków, a przy tym artykuły 4 i 5 zostały wyróżnione przez redakcje.

### **3. Ocena pozostałego dorobku naukowego (po uzyskaniu stopnia doktora)**

Po roku 2011 dr K. Bielska opublikowała 16 innych artykułów naukowych (łącznie 21), które nie zostały ujęte, jako prace związane z postępowaniem habilitacyjnym. Artykuły te zostały wydrukowane w indeksowanych czasopismach naukowych, w większości o wysokich współczynnikach *impact factor*. Ogółem, do czasu złożenia dokumentów przewodu habilitacyjnego, t.j. do września 2022, roku, jej publikacje były cytowane 613 razy, w tym 540 razy bez autocytowań. Obecnie – 6. 01. 2023 - w Web of Science wykazane są łącznie 42 artykuły habilitantki, 634 cytowania, w tym 560 bez autocytowań. Jej indeks Hirscha wynosi 14. W wymienionych powyżej pracach dr Katarzyna Bielska uczestniczyła



nie tylko jako pomysłodawca doświadczeń, projektant i budowniczy aparatury, ale także jako interpretator wyników eksperymentów i autor metod dopasowania rezultatów do modeli teoretycznych.

Po doktoracie Habilitantka opublikowała także 6 artykułów konferencyjnych. Wygłosiła 7 zaproszonych referatów podczas międzynarodowych konferencji naukowych. Ponad to zaprezentowała 7 komunikatów, głównie podczas konferencji międzynarodowych. Pracowała w Komitecie organizacyjnym *23rd International Conference on Spectral Line Shapes* w Toruniu (2016 r.).

W latach 2012 – 2014 odbyła dwu i pół roczny staż naukowy w NIST (Materials Measurement Division, Gaithersburg MD, USA).

Analiza całości dorobku naukowego prowadzi do wniosku, że po uzyskaniu stopnia doktora aktywność naukowa dr Katarzyny Bielskiej istotnie zwiększyła się. Za tę działalność była nagradzana zarówno na UMK jak i w NIST.

#### **4. Ocena dorobku organizacyjnego i dydaktycznego**

Dr Katarzyna Bielska wykazuje się także aktywną działalnością na rzecz swojego środowiska. W latach 2011 – 2019 była wykonawcą trzech grantów badawczych, a w latach 2015 – 2019 kierowała projektem Sonata 8. Obecnie kieruje grantem Sonata Bis 8 pt. *Precyzyjna i dokładna spektroskopia słabych linii molekularnych gazów atmosferycznych* (NCN), który będzie realizowany do roku 2024. Poza tym jest wykonawcą trzech innych projektów.

Dr K. Bielska recenzowała 10 artykułów naukowych dla czasopism takich jak *Optics Express*, *Applied Physics B* i *Journal of Physics*.

Bardzo bogaty i świadczący o wszechstronności jest dorobek dydaktyczny dr Katarzyny Bielskiej. Prowadziła wiele różnorodnych zajęć, w tym ćwiczenia z matematyki i fizyki (przed doktoratem), ćwiczenia z analizy matematycznej, zajęcia laboratoryjne z fizyki i elektroniki, ćwiczenia i wykład z metod pomiarowych i analizy danych oraz wykład z fizyki i technologii próżni. Opiekowała się jedną pracą inżynierską i jedną licencjacką. Obecnie jest promotorem pomocniczym jednej pracy doktorskiej.

Od samego początku swej działalności na UMK Habilitantka włączała się w prace związane z popularyzacją nauki. Wymienić tu należy organizację akcji dni otwartych „Dziewczyny do Ścisłych”, a także wystawy i wykłady dla szerokiej publiczności, w tym uczniów i nauczycieli.

#### **5. Podsumowanie**

Przedstawione powyżej liczby i fakty świadczą, że dr Katarzyna Bielska jest wysokiej klasy aktywnym pracownikiem naukowym. Fakt, że jest ona głównym autorem artykułów naukowych dotyczących nowatorskich badań z zakresu ultraprecyzyjnych pomiarów kształtu linii spektralnych świadczy o tym, że jest specjalistą w tej dziedzinie cenionym w środowisku naukowym. Analiza jej dorobku naukowego upewnia jednocześnie, że ma ona także szeroką wiedzę w zakresie pozostałych gałęzi optyki. Bardzo wysoko należy ocenić jej zdolności w zakresie eksperymentu naukowego oraz interpretacji wyników. Niemniej cenne jest to, że wyniki przedstawionych przez nią prac doświadczalnych stymulowały postęp w zakresie teorii kształtu linii widmowych.

Habilitantka miała spory dorobek przed uzyskaniem stopnia doktora nauk, ale wyraźnie widoczny jest wzrost jej aktywności po roku 2011. Sądzę, że działalność i osiągnięcia naukowe dr K. Bielskiej wystawiają jej bardzo dobre świadectwo i wyczerpują wymagania stawiane przyszłym doktorom habilitowanym.

Sam cykl publikacji, stanowiący wymagane przez ustawę osiągnięcie naukowe, uważam za bardzo dobry, zawierający wiele ważnego materiału dla współczesnej spektroskopii, a także mający związek z najbardziej aktualnymi jego zastosowaniami w innych dziedzinach nauki, jak fizyka atmosfery. Artykuły wchodzące w skład tego dzieła zostały także wysoko ocenione przez recenzentów znakomitych czasopism, cieszących się najwyższym uznaniem w środowisku fizyków jak np. *Physical Review Letters* czy *Optics Express*.

Podsumowując, stwierdzam jednoznacznie, że w mojej opinii dr Katarzyna Bielska spełnia ustawowe i zwyczajowe wymogi związane z nadaniem stopnia naukowego doktora habilitowanego. Widoczny jest systematyczny rozwój naukowy Habilitantki, która regularnie publikuje wyniki swoich prac na łamach wiodących czasopism z listy filadelfijskiej, a także bierze czynny udział w działalności organizacyjnej, dydaktycznej i popularyzatorskiej. Wniosuję o dopuszczenie kandydatki do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego.

Tadeusz Stacewicz

Warszawa, 13. 01. 2023

Prof. dr hab. Tadeusz Stacewicz  
Instytut Fizyki Doświadczalnej  
Wydział Fizyki  
Uniwersytetu Warszawskiego  
02-093 Warszawa, ul. Pasteura 5

**Recenzja dorobku dr Katarzyny Bielskiej  
z Instytutu Fizyki Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu  
w związku z postępowaniem habilitacyjnym**

## **1. Wstęp**

Dr Katarzyna Bielska uzyskała dyplom magistra fizyki na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika (UMK) w Toruniu w 2007 roku. Tytuł pracy magisterskiej brzmiał: *Rozszerzenie ciśnieniowe składowych nadsubtelnych linii widmowej 326,1 nm  $^{113}\text{Cd}$  zaburzonej argonem i ksenonem*. W roku 2011 na tej samej uczelni obroniła pracę doktorską pt. *Spektroskopowe badania prężności pary nasyconej lodu*. Do czasu uzyskania stopnia doktora była współautorką siedmiu artykułów opublikowanych w indeksowanych czasopismach naukowych i rozdziału w monografii wydanej na Politechnice Wrocławskiej oraz dziewięciu publikacji w materiałach międzynarodowych konferencji naukowych.

Po ukończeniu doktoratu Habilitantka została zatrudniona w UMK na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, w Instytucie Fizyki, w Zakładzie (później Katedrze) Fizyki Atomowej, Molekularnej i Optycznej: do września 2015 roku na stanowisku asystenta, a później adiunkta, gdzie pracuje do dziś. Odebrała także dwu i pół roczny staż naukowy w *National Institute of Standards and Technology* (NIST).

## **2. Ocena osiągnięcia naukowego**

Zgodnie z wymaganiami ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki dr Katarzyna Bielska przedstawiła jako osiągnięcie naukowe monotematyczny cykl pięciu publikacji zatytułowany *Precyzyjna spektroskopia słabych linii widmowych cząsteczek o znaczeniu atmosferycznym*.

Celem tych badań jest uzyskanie jak najdokładniejszych informacji o własnościach wyróżnionych linii widmowych cząsteczek tlenu oraz tlenku i dwutlenku węgla. Dane te są istotne dla kilku zastosowań, między innymi dla zdalnych badań atmosfery. Pomiar transmisji atmosfery na długościach fal pochłanianych przez te związki umożliwia ocenę koncentracji tych molekuł w kolumnie powietrza, a także ciśnienia oraz temperatury. Badania takie są

systematycznie przeprowadzane – czy to z powierzchni Ziemi, czy też z kosmosu. Duże znaczenie mają tutaj słabe linie, gdyż przy obserwacji na odpowiadających im długościach fali nie zachodzi nasycenie absorpcji (t.j. niemal całkowite wyłumienie transmitowanego promieniowania) w wielokilometrowej kolumnie atmosfery. Dlatego istotne jest uzyskanie jak najbardziej dokładnej informacji o częstościach i natężeniach tych linii, a także o ich kształcie przy różnym ciśnieniu i temperaturze. Niezbędne jest operowanie poprawnym modelem formowania się kształtu linii w tych warunkach, a ten może powstać tylko w procesie porównania wyników teorii z danymi z precyzyjnych eksperymentów. Jednak skuteczna obserwacja widm absorpcji promieniowania na słabych liniach w laboratorium wymaga posłużenia się technikami ultraczułymi. Należą do nich pomiary własności absorbera we wnęce optycznej o wysokiej dobroci. Cykl publikacji dotyczący takich właśnie badań został przedstawiony przez dr Katarzynę Bielską jako osiągnięcie naukowe.

W tej spektroskopii wykorzystuje się kilka zjawisk zachodzących we wnęce z absorberem. Między innymi rejestruje się straty dobroci rezonatora wprowadzane przez zawartą w nim materię poprzez pomiar czasu uwięzienia promieniowania (*Cavity Ring – Down Spectroscopy* – CRDS). Na UMK rozwinęto także inne techniki, jak badanie szerokości modu wnęki czy też rejestrację dyspersji wprowadzanej przez absorber.

Prace wchodzące w skład wymienionego osiągnięcia naukowego dotyczą zarówno technik eksperymentalnych opartych o rezonatory optyczne jak i analizy danych przy użyciu zaawansowanych funkcji opisujących kształt linii widmowych. Habilitantka starała się wypracować techniki umożliwiające uzyskanie jak najbardziej precyzyjnych parametrów kształtu tych linii. Publikacje zawierają także wyniki współpracy z teoretykami opracowującymi nowe modele widm absorpcji.

Pierwsza praca (z 2015 r.) dotyczy 27 linii pasma cząsteczki CO<sub>2</sub> zlokalizowanego około 1,6 μm. Pomiary wykonano metodą spektroskopii strat we wnęce z aktywną stabilizacją jej długości z użyciem lasera He-Ne. Uzyskano niepewności natężeń linii rzędu 0,1% i wysoką zgodność z wynikami teoretycznymi – 0,3%. Już jakość tych pomiarów spełniała wymagania stawiane danym wykorzystywanym do interpretacji optycznych pomiarów atmosfery. Jednocześnie artykuł ten potwierdził trafność teoretycznego modelu formowania się kształtu linii. Jego przewidywania można było rozszerzyć na inne linie CO<sub>2</sub>. Badania zostały zrealizowane podczas pobytu Habilitantki na stażu podoktorskim w NIST. Artykuł opublikowano w *Phys. Rev. Lett.*, a dr K. Bielska jest jego drugim autorem. Jej wkład (ujmując skrótowo) polegał na przystosowaniu układu CRDS do pomiarów i uczestnictwie w tych pomiarach, a następnie analizie danych i wyznaczeniu natężeń linii.

Doświadczenia opisane w publikacjach omawianych poniżej (2 – 5) zostały wykonane w UMK, a Habilitantka jest w nich pierwszym autorem.

Druga z prac wchodzących w skład omawianego osiągnięcia naukowego (2017 r.) dotyczyła wyznaczenia położenia dwóch rozszerzonych dopplerowsko linii widmowych z pasma B tlenu molekularnego. Linie te, powstające wskutek przejść magnetycznych – dipolowych, charakteryzują się natężeniami mniejszymi niż  $6 \cdot 10^{-25}$  cm, co uniemożliwia zastosowanie technik pomiaru innych niż CRDS. Wyniki zostały odniesione do zegara atomowego na izotopie  $^{88}\text{Sr}$  sprzężonego ze spektrometrem CRDS za pośrednictwem grzebienia optycznego. Umożliwiło to wyznaczenie ich położenia z niepewnością 8,2 kHz. Zaprezentowano w nim jedno z pierwszych (o ile nie pierwsze) wykorzystanie optycznego zegara atomowego jako wzorca częstotliwości do pomiarów położenia linii widmowych w spektroskopii molekularnej. Habilitantka wykonała i oprogramowała część aparatury umożliwiającą powiązanie częstotliwości widm z zegarem atomowym. Zrealizowała większość pomiarów i dokonała analizy danych doświadczalnych oraz przygotowała wyniki do publikacji.

Trzecia praca (2021 r.) również dotyczy pasma B tlenu. Uzyskano w niej wyższą precyzję pomiaru kształtu linii (0,2%) niż w poprzednich pomiarach dzięki użyciu spektroskopii strat we wnęcie optycznej ale także i pomiarom szerokości modu wnęki. Wyższa dokładność pomiarów wymagała użycia bardziej zaawansowanego modelu kształtu linii widmowych (uwzględniającego efekty zależności od prędkości molekuly oraz zwiężenia Dickego) by uzyskać zgodność teorii z doświadczeniem. Ciekawym i nowym efektem było także zaobserwowanie zmiany współczynnika odbicia zwierciadeł wnęki w wiązkach światła o wysokiej mocy. Udział dr K. Bielskiej polegał na opracowaniu koncepcji przebudowy spektrometru i współpracy przy jego przebudowie. Opracowała też plan pomiarów, wykonała ich część, przeprowadziła analizę uzyskanych danych i przygotowała wyniki do publikacji.

W następnej pracy (również 2021 r.) wyznaczono położenia linii tlenu węgla z dokładnością około 500 Hz za pomocą spektroskopii nasyceniowej. Pomiaru zostały przeprowadzone poprzez obserwację dyspersji optycznej we wnęcie. Wykazano, że w warunkach nasycenia optycznego technika ta ma przewagę nad CRDS oraz spektroskopią szerokości modu wnęki. Habilitantka zaplanowała pomiary i zrealizowała większość z nich. Miała większościowy udział w analizie danych doświadczalnych, w tym w dopasowaniu położenia dipu Lamba do kształtu modu wnęki i czasu zaniku w niej promieniowania oraz w przygotowaniu wyników do publikacji i opracowaniu jej tekstu

W ostatniej pracy wchodzącej w skład omawianego osiągnięcia naukowego zrealizowano pomiar natężeń linii CO z precyzją wynoszącą 1‰ (gdy standardowo nie jest ona lepsza niż 1 - 20%). Zastosowano również technikę pomiaru dyspersji optycznej we wnętrzu. Porównano te wyniki z rezultatami równoległe otrzymanymi za pomocą CRDS w NIST oraz przy użyciu spektrometru fourierowskiego w Physikalische Technische Bundesanstalt. Stwierdzono niespotykaną do tej pory 1‰ zgodność danych uzyskanych w tych trzech laboratoriach za pomocą różnych technik, jak również podobną zgodność z obliczeniami teoretycznymi wykonanymi w grupie z University College London. Poza rekordowym osiągnięciem z zakresu molekularnej spektroskopii laserowej wynik ten jest bardzo istotnym osiągnięciem dla geofizycznych badań atmosfery Ziemi i innych ciał niebieskich. Tak dokładne badania stymulowały też *ab initio* obliczenia teoretycznych modeli kształtu linii – a tym samym postęp w tej dziedzinie. W doświadczeniu tym Habilitantka współdziałała w doborze warunków pomiarowych, zrealizowała większość pomiarów oraz analiz danych. Koordynowała ze strony UMK współpracę z autorami z pozostałych ośrodków naukowych.

Wspomniane artykuły wydrukowane zostały w latach 2015 – 2022, w czasopismach naukowych o wysokim współczynniku *impact factor*: *Phys. Rev. Lett* (art. 1 i 5), *J. Quant. Spectrosc. Radiat* (art. 2 i 3) i *Optics Express* (art. 4).

Uważam, że przedstawione przez dr Katarzynę Bielską osiągnięcie naukowe dobrze spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. W pracach tych jej rola była wiodąca. Publikacje są nowatorskie, indukują postęp w dziedzinie teorii kształtu linii widmowych. Zostały wydrukowane w czasopismach wysoko cenionych przez fizyków, a przy tym artykuły 4 i 5 zostały wyróżnione przez redakcje.

### **3. Ocena pozostałego dorobku naukowego (po uzyskaniu stopnia doktora)**

Po roku 2011 dr K. Bielska opublikowała 16 innych artykułów naukowych (łącznie 21), które nie zostały ujęte, jako prace związane z postępowaniem habilitacyjnym. Artykuły te zostały wydrukowane w indeksowanych czasopismach naukowych, w większości o wysokich współczynnikach *impact factor*. Ogółem, do czasu złożenia dokumentów przewodu habilitacyjnego, t.j. do września 2022, roku, jej publikacje były cytowane 613 razy, w tym 540 razy bez autocytowań. Obecnie – 6. 01. 2023 - w Web of Science wykazane są łącznie 42 artykuły habilitantki, 634 cytowania, w tym 560 bez autocytowań. Jej indeks Hirscha wynosi 14. W wymienionych powyżej pracach dr Katarzyna Bielska uczestniczyła

nie tylko jako pomysłodawca doświadczeń, projektant i budowniczy aparatury, ale także jako interpretator wyników eksperymentów i autor metod dopasowania rezultatów do modeli teoretycznych.

Po doktoracie Habilitantka opublikowała także 6 artykułów konferencyjnych. Wygłosiła 7 zaproszonych referatów podczas międzynarodowych konferencji naukowych. Ponadto zaprezentowała 7 komunikatów, głównie podczas konferencji międzynarodowych. Pracowała w komitecie organizacyjnym *23rd International Conference on Spectral Line Shapes* w Toruniu (2016 r.).

W latach 2012 – 2014 odbyła dwu i pół roczny staż naukowy w NIST (Materials Measurement Division, Gaithersburg MD, USA).

Analiza całości dorobku naukowego prowadzi do wniosku, że po uzyskaniu stopnia doktora aktywność naukowa dr Katarzyny Bielskiej istotnie zwiększyła się. Za tę działalność była nagradzana zarówno na UMK jak i w NIST.

#### **4. Ocena dorobku organizacyjnego i dydaktycznego**

Dr Katarzyna Bielska wykazuje się także aktywną działalnością na rzecz swojego środowiska. W latach 2011 – 2019 była wykonawcą trzech grantów badawczych, a w latach 2015 – 2019 kierowała projektem Sonata 8. Obecnie kieruje grantem Sonata Bis 8 pt. *Precyzyjna i dokładna spektroskopia słabych linii molekularnych gazów atmosferycznych* (NCN), który będzie realizowany do roku 2024. Poza tym jest wykonawcą trzech innych projektów.

Dr K. Bielska recenzowała 10 artykułów naukowych dla czasopism takich jak *Optics Express*, *Applied Physics B* i *Journal of Physics*.

Bardzo bogaty i świadczący o wszechstronności jest dorobek dydaktyczny dr Katarzyny Bielskiej. Prowadziła wiele różnorodnych zajęć, w tym ćwiczenia z matematyki i fizyki (przed doktoratem), ćwiczenia z analizy matematycznej, zajęcia laboratoryjne z fizyki i elektroniki, ćwiczenia i wykład z metod pomiarowych i analizy danych oraz wykład z fizyki i technologii próżni. Opiekowała się jedną pracą inżynierską i jedną licencjacką. Obecnie jest promotorem pomocniczym jednej pracy doktorskiej.

Od samego początku swej działalności na UMK Habilitantka włączała się w prace związane z popularyzacją nauki. Wymienić tu należy organizację akcji dni otwartych „Dziewczyny do Ścisłych”, a także wystawy i wykłady dla szerokiej publiczności, w tym uczniów i nauczycieli.

#### **5. Podsumowanie**

Przedstawione powyżej liczby i fakty świadczą, że dr Katarzyna Bielska jest wysokiej klasy aktywnym pracownikiem naukowym. Fakt, że jest ona głównym autorem artykułów naukowych dotyczących nowatorskich badań z zakresu ultraprecyzyjnych pomiarów kształtu linii spektralnych świadczy o tym, że jest specjalistą w tej dziedzinie cenionym w środowisku naukowym. Analiza jej dorobku naukowego upewnia jednocześnie, że ma ona także szeroką wiedzę w zakresie pozostałych gałęzi optyki. Bardzo wysoko należy ocenić jej zdolności w zakresie eksperymentu naukowego oraz interpretacji wyników. Niemniej cenne jest to, że wyniki przedstawionych przez nią prac doświadczalnych stymulowały postęp w zakresie teorii kształtu linii widmowych.

Habilitantka miała spory dorobek przed uzyskaniem stopnia doktora nauk, ale wyraźnie widoczny jest wzrost jej aktywności po roku 2011. Sądzę, że działalność i osiągnięcia naukowe dr K. Bielskiej wystawiają jej bardzo dobre świadectwo i wyczerpują wymagania stawiane przyszłym doktorom habilitowanym.

Sam cykl publikacji, stanowiący wymagane przez ustawę osiągnięcie naukowe, uważam za bardzo dobry, zawierający wiele ważnego materiału dla współczesnej spektroskopii, a także mający związek z najbardziej aktualnymi jego zastosowaniami w innych dziedzinach nauki, jak fizyka atmosfery. Artykuły wchodzące w skład tego dzieła zostały także wysoko ocenione przez recenzentów znakomitych czasopism, cieszących się najwyższym uznaniem w środowisku fizyków jak np. *Physical Review Letters* czy *Optics Express*.

Podsumowując, stwierdzam jednoznacznie, że w mojej opinii dr Katarzyna Bielska spełnia ustawowe i zwyczajowe wymogi związane z nadaniem stopnia naukowego doktora habilitowanego. Widoczny jest systematyczny rozwój naukowy Habilitantki, która regularnie publikuje wyniki swoich prac na łamach wiodących czasopism z listy filadelfijskiej, a także bierze czynny udział w działalności organizacyjnej, dydaktycznej i popularyzatorskiej. Wniosuję o dopuszczenie kandydatki do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego.

Tadeusz Stacewicz