

Dr hab. Zbigniew Idziaszek  
Instytut Fizyki Teoretycznej  
Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski  
ul. Pasteura 5, 02- 093 Warszawa

Warszawa, 30 grudnia 2020

**Ocena osiągnięcia naukowego pt. „Wybrane zjawiska zderzeniowe i rezonansowe w pułapkach jonowych„ oraz dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego doktora Łukasza Kłosowskiego ubiegającego się o stopień naukowy doktora habilitowanego**

**Sylwetka kandydata**

Dr Łukasz Kłosowski ukończył studia magisterskie w 2004 roku na Politechnice Gdańskiej. W latach 2004-2008 odbył studia doktoranckie na Uniwersytecie Mikołaja Kopernia (UMK) na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej w Zakładzie Fizyki Atomowej, Molekularnej i Optycznej, które zakończył obroną pracy doktorskiej pt. „Koincydencyjne badania zderzeń elektron-atom helu z zastosowaniem lokalnego pola magnetycznego do zmiany ruchu elektronów” wykonanej pod opieką prof. dr hab. Stanisława Chwirot. W 2008 roku rozpoczął pracę w tymże zakładzie na stanowisku Asystenta naukowo-dydaktycznego, a od 2009 do chwili obecnej pracuje tam jako Adiunkt na stanowisku naukowo-dydaktycznym. W trakcie swojej kariery naukowej w latach 2010-2011 odbył staż naukowy (razem 4 miesiące) w grupie prof. Blatta pracującego na Uniwersytecie w Innsbrucku (Austria) oraz w instytucie IQOQI, mający głównie na celu zbudowanie elementów pułapki jonowej wykorzystywanej później w KL FAMO. Następnie, w latach 2011-2012 odbył staż podoktorski w grupie prof. Michaela Drewsena na Uniwersytecie Aarhus (Dania), gdzie badał chłodzenie jonów molekularnych w pułapkach Paula. Od 2015 roku rozpoczął badania wykorzystując pułapkę jonową wykonaną w KL FAMO, które przyniosły większość publikacji, z których składa się osiągnięcie naukowe.

**Ocena osiągnięcia naukowego**

Podstawą ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego jest cykl pięciu prac (numerowanych w autoreferacie [1] do [5]) pod wspólnym tytułem „Wybrane zjawiska zderzeniowe i rezonansowe w pułapkach jonowych”. Prace zostały opublikowane w latach 2014-2020. Pierwsza z prac opublikowana została w prestiżowym czasopiśmie *Nature* i powstała jako efekt pobytu naukowego Kandydata na Uniwersytecie w Aarhus. Pozostałe ukazały się w większości w dobrych czasopismach specjalistycznych z dziedziny fizyki plazmy

i spektroskopii elektronowej i masowej. Zgodnie z obowiązującą ustawą wszystkie prace wchodzące w skład rozprawy ukazały się po doktoracie oraz opublikowane są w czasopiśmie wymienionych w ministerialnym wykazie czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji naukowych. Ich łączny Impact Factor wynosi **48,588** co jest bardzo dobrym wynikiem (na co ma wpływ oczywiście publikacja w *Nature*), natomiast sumaryczna liczba ich cytowań wynosi **72** (tu średnią też podbija publikacja w *Nature*). Prace [3]-[5] ukazały się w latach 2018-2020, więc ich mała liczba cytowań (razem 6 wg *Web of Science*) wynika prawdopodobnie z faktu, że nie zostały jeszcze dostrzeżone przez środowisko naukowe.

Zgodnie z deklaracją Habilitanta zawartą w autoreferacie, w publikacjach [2]-[5] Habilitant miał wiodący wkład, polegający na zbudowaniu bądź dostosowaniu układu doświadczalnego, przeprowadzeniu pomiarów oraz przygotowaniu manuskryptu. Habilitant jest w nich pierwszym autorem i prace powstały z jego koncepcji. Jest to zgodne z deklaracjami pozostałych współautorów. W pracy [1] powstałej po stażu podoktorskim w grupie prog. Drewsena Kandydat brał czynny udział w eksperymencie oraz w przygotowaniu manuskryptu. Jego ważnym wkładem w tej pracy było określenie sposobu pomiaru temperatury rotacyjnych stopni swobody, wyznaczenie analitycznej zależności pomiędzy średnią energią zderzenia atom-jon oraz temperaturą gazu buforowego dla danej geometrii kryształu co pozwoliło wyznaczyć rozkład statystyczny prędkości zderzeń atom-jon. Moim zdaniem publikacje wchodzące w skład cyklu wystarczająco mocno świadczą o dojrzałości naukowej Kandydata w kontekście jego starań o uzyskanie stopnia doktora habilitowanego.

Tematyka przedstawiona w rozprawie dotyczy badań jonów atomowych i molekularnych w pułapkach Paula, w szczególności wybranych zagadnień dotyczących ich pułapkowania, chłodzenia oraz procesów zderzeniowych z udziałem elektronów. Pułapkowane jony w niskich temperaturach są od dłuższego czasu obiektem intensywnych badań w czołowych ośrodkach na świecie ze względu na szerokie zastosowania w precyzyjnych pomiarach (np. w zegarach optycznych), w przetwarzaniu informacji kwantowej, czy też w kontrolowanych reakcjach chemicznych. Z tego punktu widzenia przedstawiony cykl prac dobrze wpisuje się w bieżący nurt badań w dziedzinie fizyki AMO a wyniki mogą okazać się potencjalnie przydatne dla grup doświadczalnych pracujących bądź planujących doświadczenia z jonami. Warto podkreślić, że obecność grupy w której dr Kłosowski jest liderem, badającej zimne pułapkowane jony w Polsce jest niewątpliwie istotna z punktu widzenia rozwoju nowoczesnych technologii oraz współpracy z grupami teoretycznymi. Poniżej omówię pokrótce najważniejsze wyniki rozprawy.

W pracy [1] zademonstrowana została metoda chłodzenia jonów molekularnych, która jest kombinacją dwóch podejść: (i) chłodzenia sympatycznego poprzez oddziaływanie jonów molekularnych z laserowo chłodzonymi jonami atomowymi (ii) chłodzenia poprzez zderzenia z zimnym i rozrzedzonym gazem buforowym. Pierwsze z nich pozwala efektywnie schłodzić

translacyjne stopnie swobody, natomiast druga metoda umożliwia chłodzenie wzbudzeń rotacyjnych cząsteczki. W tym podejściu udało się schłodzić cząsteczki  $MgH^+$  do temperatury stanów rotacyjnych wynoszącej około 7K, przy jednocześnie stosunkowo niskiej gęstości gazu buforowego atomów He. W temperaturze pokojowej cząsteczki  $MgH^+$  znajdują się głównie w wibracyjnym stanie podstawowym, więc te stopni swobody nie wymagają chłodzenia. Do tej pory w eksperymentach chłodzenie jonów molekularnych odbywało się metodą chłodzenia sympatycznego przy użyciu znacznie wyższych gęstości gazu buforowego. Zaprezentowana metoda może być przeniesiona na znacznie większe jony molekularne o znaczeniu biologicznym.

Habilitant w wymienionej pracy brał bezpośredni udział w eksperymencie, dostarczając istotny wkład w interpretację wyników doświadczalnych oraz tworzenie manuskryptu. Jego wkładem było też analityczne wyznaczenie rozkładu statystycznego prędkości zderzających się atomów i jonów co zostało opisane w dodatku online do artykułu w *Nature*, który zgodnie z informacją Habilitanta, jest głównie jego autorstwa. Drugim osiągnięciem Kandydata w tych badaniach było zaproponowanie sposobu określenia temperatury stanów rotacyjnych poprzez pomiar obsadzenia stanu podstawowego. W ten sposób zdefiniowana temperatura z dobrym przybliżeniem odpowiada temperaturze zderzeń w układzie środka masy pomiędzy jonami i atomami gazu buforowego. Uzyskane w doświadczeniu obsadzenie rotacyjnego stanu podstawowego na poziomie 80% było na tamte czasy rekordowym wynikiem, a omawiana praca zdobyła szerokie uznanie w grupach badających zimne jony molekularne.

Druga praca wchodząca w skład osiągnięcia [2] poświęcona była zagadnieniu nieliniowych rezonansów, które występują w pułapkach Paula na skutek obecności wyższych członów multipolowych w rozwinięciu potencjału pułapki wokół centrum. W przypadku gdy spełniony jest warunek rezonansowy pomiędzy sumą wzbudzeń w kierunku osiowym oraz poprzecznym a częstością radiową pułapki Paula, jony ulegają grzaniu a następnie uciekają z pułapki. Efekt ten był już znany wcześniej, jednak nie był zbadany dla pułapek liniowych. Przy pomocy obliczeń numerycznych autorzy pokazali, że największy wkład do rezonansu pochodzi od zaburzenia o symetrii oktupolowej, co zostało następnie zweryfikowane doświadczalnie na podstawie rezonansów zmierzonych dla jonu wapnia. Wyznaczony analitycznie wzór na położenie rezonansów, dobrze opisywał zarówno wyniki symulacji numerycznych jak i zmierzone doświadczalnie rezonanse. Niestety nie wszystkie ze zidentyfikowanych rezonansów udało się zaobserwować w doświadczeniu, natomiast symulacje numeryczne przewidywały jeszcze mniejszą liczbę rezonansów, prawdopodobnie na skutek nieuwzględnienia wyższych członów multipolowych. Zagadnienie to jest obecnie przedmiotem badań w pracy doktorskiej, w której Habilitant pełni rolę promotora pomocniczego.

Badania jonu wapnia w pułapce Paula kontynuowane były w pracy [3], gdzie obserwowano szybkość wypełniania pułapki jonami, które powstawały na skutek procesu jonizacji w zderzeniu wiązki elektronów z wiązką atomową. Pomiar szybkości produkcji jonów w pułapce pozwolił wyznaczyć całkowity przekrój czynny na zderzenia elektronów z atomami wapnia z dokładnością do stałej multiplikatywnej. Uzyskane dane zderzeniowe zostały następnie porównane z istniejącymi w literaturze modelami teoretycznymi i pomiarami doświadczalnymi, uzyskując dobrą zgodność dla wyższych energii zderzenia. Do przeprowadzenia eksperymentu konieczne było zbudowanie impulsowego działła elektronowego z precyzyjnie kontrolowanym czasem trwania impulsu oraz energii elektronów, co pozwoliło dokładnie zmierzyć procesy jonizacji. Z informacji zawartych w autoreferacie Habilitant kontynuuje te badania wraz z grupą teoretyczną z Australii, rozszerzając je na procesy dalszej jonizacji jonów wapnia.

W pracy [4] układ wiązki elektronowej oraz pułapki Paula został wykorzystany do badania efektów przekazu energii i pędu w zderzeniach sprężystych elektronów na układzie jonów. Obliczenia zostały wykonane w oparciu o dynamikę klasyczną, w mierzonym zakresie temperatur ruch jonów w chmurze może być opisany klasycznie, a rozpraszanie na potencjale kulombowskim opisane wzorem Rutherforda jest identyczne zarówno w przypadku klasycznym jak i kwantowym. Różniczkowy przekrój czynny przewiduje maksimum rozpraszania dla małej wartości kąta rozpraszania. W tym przypadku przekaz pędu jest znikomy, natomiast obecność wielu jonów w pułapowanej chmurze pozwala zaobserwować efekty transferu energii kinetycznej elektronów do chmury jonów. Na podstawie przeprowadzonych symulacji numerycznych powiązано temperaturę chmury jonów z jej rozmiarem w zależności od liczby jonów w pułapce. Pozwoliło to wyznaczyć temperaturę na podstawie obserwowanego obrazu chmury przez kamerę CCD. Zmierzone dane doświadczalne pozostawały w dobrej zgodności z przewidywaniami teoretycznymi wyprowadzonymi w oparciu o klasyczny model rozpraszania.

Badanie zderzeń sprężystych elektronów i jonów w pułapce Paula kontynuowane były w pracy [5], tym razem zbadano efekt przyciągania wiązki w konfiguracji, gdy chmura jonów wapnia jest bombardowana wiązką elektronów, która nie przechodzi centralnie. Przyciąganie powodowało przesuwanie się chmury jonów w kierunku wiązki elektronowej, które rosło wraz ze zmniejszeniem się odległości między wiązką a chmurą. Zmierzony potencjał elektryczny powodujący przyciąganie, pochodzący od wiązki elektronów osiągał maksimum, gdy wiązka zaczynała przechodzić przez brzeg chmury a następnie malał do zera, gdy wiązka przechodziła przez chmurę centralnie. Było to zgodne z przewidywaniem prostego modelu opartego o rozwiązanie problemu z elektrostatyki polegającego na wyznaczeniu pola wokół jednorodnie naładowanego walca odpowiadającego chmurze elektronowej. Jednocześnie Habilitant wraz z współautorem przeprowadził obliczenia oparte o rozpraszanie elektronów na jednorodnie naładowanej sferze oraz pełne obliczenia numeryczne, które uwzględniały ziarnistość ładunku

odpowiadającą jonom w chmurze. Alternatywne obliczenia dały wyniki zgodne z danymi doświadczalnymi.

Podsumowując, w mojej ocenie dorobek kandydata wchodzący w skład osiągnięcia naukowego jest bardzo zróżnicowany. Publikacja [1] ma niewątpliwie charakter pionierski, jest dobrze cytowana i praca w tak dobrym zespole jak grupa prof. Drewsena na pewno dostarczyła Kandydatowi dużo doświadczenia, które mógł przenieść na polskie podwórko. W mojej ocenie na uwagę zasługuje też publikacja [3] w której zmierzono całkowity przekrój czynny w zderzeniu elektronów z atomami wapnia, otrzymany nie jako przy okazji prac nad wytwarzaniem jonów wapnia w pułapce. Metoda ta daje dobrą rozdzielczość, wystarczającą do weryfikacji modeli teoretycznych i może być w zasadzie rozszerzona na inne układy atomów. Zgodnie z informacją w autoreferacie badania są kontynuowane we współpracy z teoretykami z Australii w zakresie rozpraszania elektronów na jonach przy optycznej selekcji początkowych stanów kwantowych jonów. Prace [4] i [5] są ciekawe, jednak moim zdaniem nie wnoszą zbyt dużo nowości do dziedziny, a fizyka przez nie badana jest dobrze znana i opisana klasycznymi równaniami ruchu na potencjale kulombowskim. Praca [2] może być natomiast pożyteczna dla innych grup doświadczalnych, dostarczając wskazówek jak konstruować liniowe pułapki Paula aby uniknąć strat na skutek rezonansów nieliniowych.

W całości jednak cykl prac wchodzących w skład osiągnięcia oceniam dobrze, łącznie osiągnięcie stanowi istotny wkład w rozwój dziedziny, a cały cykl jest moim zdaniem na poziomie wystarczającym do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego.

### **Ocena pozostałego dorobku naukowego**

Dorobek naukowy Kandydata, który nie wszedł do osiągnięcia naukowego, a powstał po uzyskaniu stopnia doktora jest dość obszerny i obejmuje łącznie 17 prac oraz recenzowanych materiałów konferencyjnych. Wszystkie te prace zostały opublikowane w czasopiśmie umieszczonych na liście w ministerialnym wykazie czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji naukowych oraz znajdują się w bazie *Journal Citations Reports*. Większość tych publikacji dotyczy tematyki rozpraszania elektronów na atomach i jonach, ale badane też było chłodzenie optyczne jonów w pułapce oraz zaproponowana została nowa konstrukcja pułapki atomowej zawierająca moduły termoelektryczne. Moim zdaniem na szczególną uwagę zasługuje praca oznaczona nr 17 opublikowana w *Physical Review Letters*, wykonana w ramach współpracy z grupą prof. M. Drewsena. Dotyczyła ona pomiaru szybkości zaniku stanów wibracyjnych jonów molekularnych  $MgH^+$  umieszczonych w liniowej pułapce Paula w warunkach kriogenicznych. Tematycznie pasuje ona do prac wchodzących w skład osiągnięcia.

Wg danych bibliometrycznych zawartych w bazie *Web of Science*, na dzień pisania recenzji prace Habilitanta były cytowane **230** razy (bez autocytowań **167** razy). Sumaryczny Impact Factor publikacji Habilitanta wynosi **86,663**, z czego **48,558** przypada na osiągnięcie naukowe, a wskaźnik Hirscha wynosi **9**. W mojej ocenie są to parametry na dobrym poziomie dla osób kandydujących do stopnia doktora habilitowanego.

W obszarze prezentacji konferencyjnych Kandydat nie wykazywał się zbyt dużą aktywnością. Po uzyskaniu stopnia doktora, dr Kłosowski wygłosił łącznie **6** referatów na krajowych i międzynarodowych konferencjach, w tym jeden zaproszony. Do tego można doliczyć **17** referatów przedstawionych w ośrodkach naukowych, w tym **10** poza macierzystą jednostką oraz **5** wykładów wygłoszonych przez współpracowników, w których Habilitant był współautorem. Autoreferat nie zawiera informacji o plakatach zaprezentowanych na konferencjach.

### **Ocena działalności dydaktycznej i popularyzatorskiej**

Kandydat może się pochwalić bardzo bogatym doświadczeniem dydaktycznym. Przez lata 2008-2020 prowadził łącznie wykłady i ćwiczenia dla **65** grup studentów w większości z zakresu fizyki. Do tego można doliczyć dwa wykłady z zakresu optyki dla kierunku Optometria wygłoszone w Wyższej Szkole Nauk o Zdrowiu w Bydgoszczy. Na dzień składania autoreferatu Kandydat sprawował opiekę nad 3 pracami inżynierskimi oraz jedną pracą licencyjną. Od 2019 roku występuje w funkcji promotora pomocniczego w przewodzie doktorskim mgr Katarzyny Pleskacz, która zajmuje się badaniem rezonansów nieliniowych w pułapce jonowej. Kandydat był także aktywny na polu popularyzatorskim, wygłosił dwa wykłady oraz sprawował opiekę nad 2 studentami w ramach letniej szkoły „The Torun Astrophysics/Physics Summer Program”.

### **Ocena działalności organizacyjnej**

Od roku 2018 Kandydat jest członkiem komitetu zarządzającego programu „Trapped Ions: Progress in classical and quantum applications” w ramach międzynarodowej sieci badawczej Europejskiego Programu w Dziedzinie Badań Naukowo-Technicznych (eCOST). Ponadto Kandydat aktywnie współpracuje z grupami badawczymi z zagranicznych uniwersytetów: Perth, Roorkee, Innsbrucku, Aarhus, Heidelbergu i Ołomuńcu oraz z trzema grupami badawczymi z Polski. Habilitant brał udział w Komitecie organizacyjnym warsztatów naukowych prowadzonych w ramach KL FAMO. Dwukrotnie został nagrodzony zespołową nagrodą rektora UMK za działalność naukową. Przez dwa lata Kandydat zasiadał w Radzie Instytutu Fizyki UMK, a od 2019 jest członkiem Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne działającej przy Instytucie Fizyki UMK. Obecnie zasiada w komisjach programowych dla nowych kierunków studiów na Wydziale Fizyki. Od niedawna Kandydat działa także jako recenzent w

dwóch zagranicznych czasopismach naukowych: „International Journal of Mass Spectrometry” oraz „Sensors”.

Na polu pozyskiwania środków na badania naukowe dr Kłosowski uczestniczył w 8 projektach badawczych a w 7 z nich występował jako kierownik. Trzy z tych projektów finansowane były ze środków zewnętrznych pochodzących z NCN i MNiSW. W chwili obecnej Habilitant uczestniczy w dużym projekcie w ramach konsorcjum „NLPQT - Narodowe Laboratorium Fotoniki i Technologii Kwantowych” oraz jest członkiem jednego z zespołów priorytetowych w ramach programu „Inicjatywa Doskonałości – Uniwersytet Badawczy” na UMK.

### **Podsumowanie**

W mojej opinii cykl publikacji dr Kłosowskiego wchodzących w skład osiągnięcia naukowego jest na dobrym poziomie, a wyniki badań przedstawione w pracach stanowią znaczący wkład w rozwój dyscypliny naukowej zgodnie z wymogami ustawy o stopniach naukowych i tytułach naukowych. Chociaż osiągnięcie naukowe zawiera tylko 5 publikacji, są to jednak prace publikowane w dobrych czasopismach naukowych. Na szczególną uwagę zasługuje publikacja w *Nature*. Poza tym Kandydat posiada znaczny dorobek publikacyjny po doktoracie, w większości tematycznie silnie powiązany z przedmiotem badań opisanych w osiągnięciu naukowym. Dodatkowo Kandydat posiada liczący się dorobek dydaktyczny oraz organizacyjny. Biorąc to pod uwagę wnoszę o dopuszczenie dr Kłosowskiego do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego.



dr hab. Zbigniew Idziaszek

