

za pośrednictwem:

**Rady Doskonałości Naukowej**  
pl. Defilad 1  
00-901 Warszawa  
(Pałac Kultury i Nauki, p. XXIV, pok. 2401)

Łukasz Kłosowski  
Instytut Fizyki, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu  
Grudziądzka 5/7, 87-100 Toruń

### Wniosek

z dnia 28 kwietnia 2020r.

o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne

Określenie osiągnięcia naukowego będącego podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego

#### Wybrane zjawiska zderzeniowe i rezonansowe w pułapkach jonowych

Wnoszę – na podstawie art. 221 ust. 10 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668 ze zm.) – aby komisja habilitacyjna podejmowała uchwałę w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w głosowaniu **jawnym**.

Zostałem poinformowany, że:

Administratorem w odniesieniu do danych osobowych pozyskanych w ramach postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego jest Przewodniczący Rady Doskonałości Naukowej z siedzibą w Warszawie (pl. Defilad 1, XXIV piętro, 00-901 Warszawa).

Kontakt za pośrednictwem e-mail: [kancelaria@rdn.gov.pl](mailto:kancelaria@rdn.gov.pl), tel. 22 656 60 98 lub w siedzibie organu.

Dane osobowe będą przetwarzane w oparciu o przesłankę wskazaną w art. 6 ust. 1 lit. c) Rozporządzenia UE 2016/679 z dnia 27 kwietnia 2016 r. w związku z art. 220 - 221 oraz art. 232 – 240 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, w celu przeprowadzenia postępowania o nadanie stopnia doktora habilitowanego oraz realizacji praw i obowiązków oraz środków odwoławczych przewidzianych w tym postępowaniu.

Szczegółowa informacja na temat przetwarzania danych osobowych w postępowaniu dostępna jest na stronie [www.rdn.gov.pl/klauzula-informacyjna-rodo.html](http://www.rdn.gov.pl/klauzula-informacyjna-rodo.html)

*Łukasz Kłosowski*

(podpis wnioskodawcy)

#### Załączniki:

- |   |  |
|---|--|
| 1. Wniosek przewodni – wersja anglojęzyczna                     | 9.3 Ł. Kłosowski et al. J. El. Spectrosc. Rel. Phenom. 228 (2018) 13-19                |
| 2. Dane wnioskodawcy – wersja polskojęzyczna                    | 9.4 Ł. Kłosowski, M. Piwiński, Phys. Plasmas 25 (2018) 102114                          |
| 3. Dane wnioskodawcy – wersja anglojęzyczna                     | 9.5 Ł. Kłosowski, M. Piwiński, AIP Adv. 10 (2020) 015028                               |
| 4. Wykaz osiągnięć naukowych – wersja polskojęzyczna            | 10. Oświadczenia współautorów publikacji:  |
| 5. Wykaz osiągnięć naukowych – wersja anglojęzyczna             | 10.1 prof. Michael Drewsen   |
| 6. Autoreferat – wersja polskojęzyczna                          | 10.2 prof. Daniel Lisak  |
| 7. Autoreferat – wersja anglojęzyczna                           | 10.3 dr hab. Mariusz Piwiński  |
| 8. Kserokopia odpisu dyplomu doktora                            | 10.4 dr Szymon Wójtewicz   |
| 9. Kopie publikacji wchodzących w skład osiągnięcia:            | 10.5 mgr Katarzyna Pleskacz  |
| 9.1 A. Hansen et al. Nature 508 (2014) 76-79 wraz z suplementem | 11. Elektroniczny nośnik pamięci (pendrive) z kopiami wniosku i wszystkich załączników |
| 9.2 Ł. Kłosowski et al. J. Mass. Spectrom. 53 (2018) 541-547    |  |

# Autoreferat

Łukasz Kłosowski

## 1 Posiadane dyplomy

1. magister inżynier fizyki technicznej, Politechnika Gdańska, 2004
2. doktor nauk fizycznych, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, 2008, tytuł rozprawy: Koincydencyjne badania zderzeń elektron-atom helu z zastosowaniem lokalnego pola magnetycznego do zmiany toru ruchu elektronów

## 2 Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

1. 2004-2008: Doktorant, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, Zakład Fizyki Atomowej, Molekularnej i Optycznej
2. 2008-2009: Asystent (stanowisko naukowo-dydaktyczne), Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, Zakład Fizyki Atomowej, Molekularnej i Optycznej
3. 2009-obecnie: Adiunkt (stanowisko naukowo-dydaktyczne), Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, Zakład (później Katedra) Fizyki Atomowej, Molekularnej i Optycznej, przerwa w zatrudnieniu: luty 2014 – maj 2015: zwolnienie lekarskie i urlop zdrowotny

## 3 Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 Ustawy.

Wybrane zjawiska zderzeniowe i rezonansowe w pułapkach jonowych

### 3.1 Wprowadzenie

Osiągnięcia przedstawione poniżej dotyczą doświadczalnych, teoretycznych i numerycznych badań zjawisk z udziałem jonów w pułapkach Paula. Pierwszy artykuł opisuje eksperyment wykonany na uniwersytecie w Aarhus we współpracy z tamtejszą grupą badawczą i z Uniwersytetem w Heidelbergu [1]. Pozostałe dotyczą eksperymentów wykonanych w Krajowym Laboratorium Fizyki Atomowej, Molekularnej i Optycznej (FAMO) w Toruniu przez kierowaną przeze mnie grupę badawczą [2, 3, 4, 5].

Pułapki jonowe [6, 7] są ważnym narzędziem używanym w fizyce atomowej i molekularnej, w spektroskopii masowej, w badaniach nad podstawowymi składnikami materii [8], czy też w przetwarzaniu informacji kwantowej [9, 10].

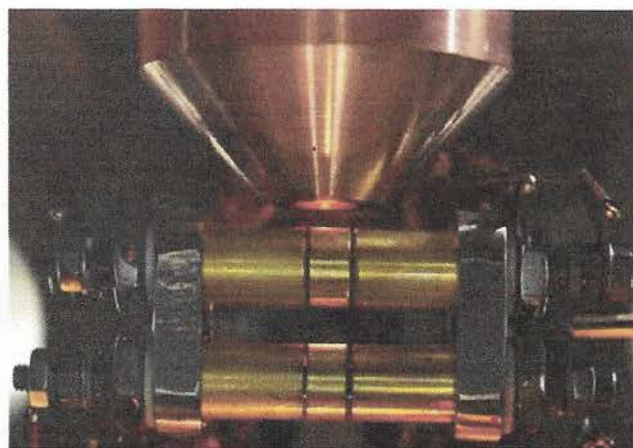
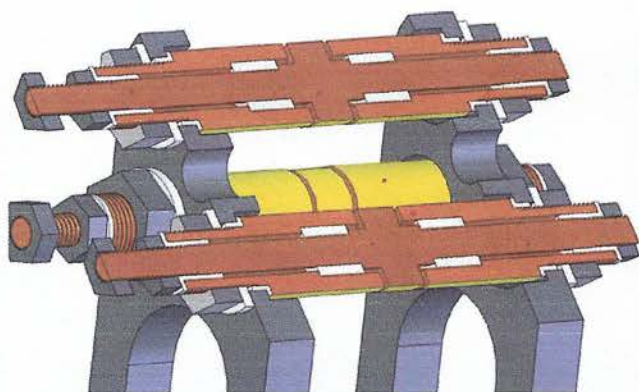
t.k.

Eksperymenty z jonami w pułapkach mają swoje źródła w potrzebie badań pojedynczych obiektów kwantowych, takich jak atomy czy cząsteczki [11]. W celu prowadzenia takich badań, konieczne jest wydajne kontrolowanie stanu ruchu takiego obiektu, co w przypadku atomu obojętnego elektrycznie jest bardzo utrudnione. Zjonizowanie takiego atomu powoduje, że staje się on wrażliwy na zewnętrzne pola elektryczne i magnetyczne, zatem możliwe jest jego spułapkowanie w polu o odpowiedniej geometrii.

Ograniczeniem konstrukcji pułapki jonowej jest twierdzenie Earnshaw'a, będące bezpośrednią konsekwencją prawa Gaussa. Mówi ono o tym, że posługując się jedynie statycznym polem elektrycznym albo magnetycznym, nie można wytworzyć lokalnego minimum potencjału, w którym można by złapać jon. W związku z tym stosuje się bardziej złożone sposoby wytwarzania potencjału pułapkującego. Jednym z nich jest kombinacja pól elektrycznego i magnetycznego (pułapka Penninga). Drugim jest pułapka Paula, która wytwarza pole elektryczne oscylujące z częstotliwością radiową. Właśnie w pułapkach Paula prowadzone były omawiane badania.

### Zasada działania pułapki Paula

Jon w oscylującym polu elektrycznym również oscyluje, wykonując tzw. mikroruch, którego energia jest proporcjonalna do kwadratu amplitudy tego pola. Energia ta może być rozumiana jako efektywna energia potencjalna w pewnym pseudopotencjale (potencjale efektywnym), której minimum znajduje się w miejscu, gdzie amplituda oscylującego pola zeruje się. Zatem, jeżeli oscylujące pole ma geometrię kwadrupola (lub multipola wyższego rzędu), powstaje w jego centrum lokalne minimum pseudopotencjału, które umożliwia pułapkowanie jonu lub zbioru jonów. Szczegółową analizę głębokości potencjału efektywnego i stabilności pułapkowanego jonu przedstawiono w pracy [2]. Często stosowanym rozwiązaniem są tzw. liniowe pułapki Paula, użyte również w opisywanych badaniach. Pułapkę taką przedstawia rysunek 1.



Rysunek 1: Geometria pułapki używanej w Krajowym Laboratorium FAMO w Toruniu. Przekrój z projektu (rysunek 2 z publikacji [3]) (lewy panel) i fotografia (prawy panel).

W pułapce liniowej węzeł oscylującego pola elektrycznego stanowi linię (oś pułapki), co pozwala na prowadzenie badań z łańcuchem jonów. Ograniczanie ruchu jonu wzdłuż tej osi odbywa się za pomocą dodatkowego pola statycznego wytwarzanego przez dodatkowe elektrody lub przez podział elektrod kwadrupola pułapki na mniejsze segmenty. Takie segmentowanie stosowane było w opisywanych eksperymentach [1, 2, 3, 4, 5].

Ł.K.

### Wytwarzanie jonów

Do wytworzenia jonów w pułapce Paula konieczne jest przeprowadzenie jakiegoś procesu jonizacyjnego w jej wnętrzu. W opisywanych badaniach posłużono się fotojonizacją neutralnych atomów wapnia lub magnezu [12, 13] i zderzeniami elektron – atom [3]. W ogólnym przypadku, możliwe jest też posługiwanie się innymi procesami, np. fotoablacją [14].

W przypadku wytwarzania jonów molekularnych, posłużono się chemiczną reakcją fotoasocjacji [15] między spułapkowanymi już jonami atomowymi magnezu a neutralnym elektrycznie wodorem.

### Chłodzenie i detekcja jonów

Jony w pułapce można chłodzić różnymi metodami, które zazwyczaj pozwalają na równoczesną ich detekcję. W opisywanych badaniach posłużono się metodą optycznego chłodzenia dopplerowskiego [16]. Polega ona na oświetleniu zespołu jonów wiązką światła laserowego o częstotliwości nieznacznie odstrojonej ku czerwieni od wybranego silnego przejścia atomowego. W przypadku jonu wapnia konieczne jest stosowanie dodatkowej wiązki sprzęgającej dwa stany wzbudzone (stany energetyczne dla tego jonu tworzą tzw. układ  $\Lambda$ ). Schłodzone zespoły jonów, w zależności od temperatury końcowej, mogą tworzyć kwaziciekłe chmury zimnych jonów lub tzw. kryształy kulombowskie, czyli uporządkowane struktury o budowie łańcucha lub układu elipsoidalnych powłok [17].

Jony obserwuje się za pomocą czulej kamery (w opisywanych eksperymentach – kamera CCD wyposażona we wzmacniacz obrazu), dzięki fluorescencji ze stanu wzbudzanego w procesie chłodzenia.

W przypadku jonu molekularnego, chłodzenie odbywało się niezależnie dla różnych rodzajów stopni swobody. Dla ruchu translacyjnego był to mechanizm chłodzenia pośredniego (sympathetic cooling) przez schłodzone optycznie jony atomowe. Ruch oscylacyjny nie wymagał chłodzenia, gdyż w typowych dla eksperymentu temperaturach jego wzbudzenie było mało prawdopodobne. Chłodzenie ruchu rotacyjnego było przedmiotem badań opisywanych w pracy [1].

## 3.2 Eksperymenty z jonami molekularnymi

Eksperyment dotyczący chłodzenia stanów rotacyjnych jonów molekularnych prowadzony był w 2012 roku podczas mojego pobytu na stażu podoktorskim (2011-2012) na uniwersytecie w Aarhus w Danii w grupie prof. Michaela Drewsena. Kontrola stanów rotacyjnych jonów molekularnych jest niezwykle ważnym zagadnieniem ze względu na jej potencjalne zastosowania, np. w informacji kwantowej, zimnej chemii, itd.

We wcześniejszych latach (przed 2012 rokiem), grupa prof. Drewsena poszukiwała możliwie wydajnych metod chłodzenia jonów molekularnych. Poprzednio najwydajniejszym sposobem było połączenie techniki środowiska kriogenicznego (pułapka wraz z całym układem próżniowym chłodzona ciekłym helem [18]) i optycznego pompowania stanu podstawowego [19]. Pozwalała ona na uzyskanie 70% jonów w zespole w stanie podstawowym. Badanie doświadczalne obsadzeń tych stanów możliwe było dzięki zastosowaniu techniki resonance-enhanced multi-photo dissociation (REMPD) [20]. Umożliwiała ona również pomiar dynamiki osiągnięcia przez układ jonów stanu równowagi [21].

W dyskusjach nad możliwościami wydajniejszego chłodzenia, jako grupa doszliśmy do wniosku, że skutecznym mechanizmem może być zderzenie z zimnym gazem buforowym, np. atomami helu. Badanie tego mechanizmu było możliwe ze względu na to, że eksperyment prowadzony był w układzie kriogenicznym, zatem uzyskanie gazu buforowego w postaci helu schłodzonego do temperatury rzędu kilku kelwinów nie stanowiło skomplikowanego problemu.

W celu określenia skuteczności metody, należało znaleźć sposób określenia oczekiwanej wartości energii zderzenia jonu z atomem gazu buforowego. Ponieważ ta energia zależy od energii mikroruchu jonu, a ta zależy od odległości jonu od osi pułapki, pokazaliśmy, że energią zderzenia można „sterować” poprzez zmiany geometrii kryształu kulombowskiego. Konieczne było więc znalezienie splotu rozkładów prędkości zderzających się jonów i atomów. Należało uwzględnić fakt, że oscylacje jonu są

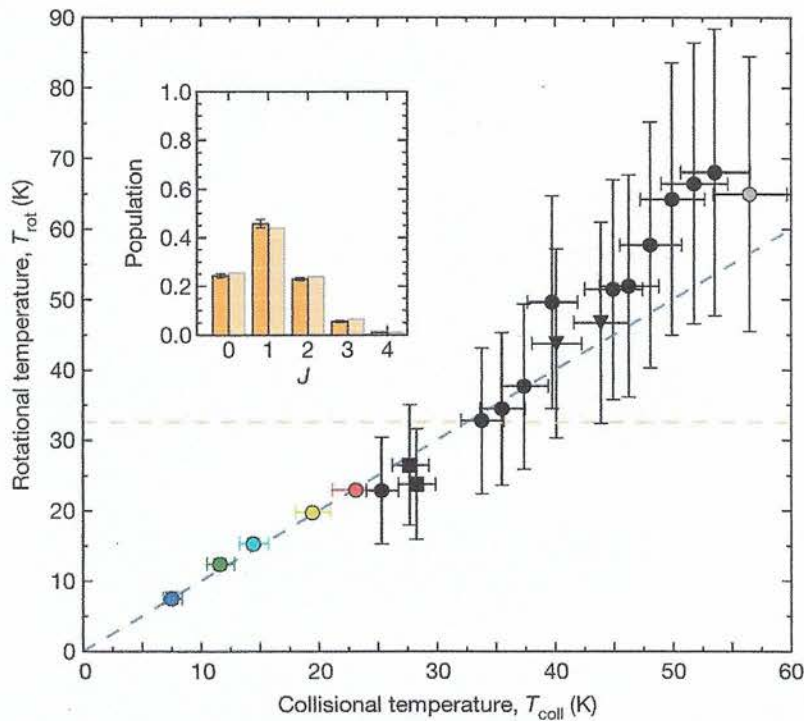
anizotropowe, tzn. odbywają się tylko wzdłuż linii drgającego pola elektrycznego. Ponadto ruch jonu jest zbliżony do oscylacji harmoniczných, zatem rozkład statystyczny takiej prędkości jest różny od rozkładu Maxwella-Boltzmana. Udało się wyznaczyć postać funkcji opisującej rozkład statystyczny prędkości zderzenia (co zostało wyjaśnione w dodatku online [22] do publikacji [1], będącym w znacznym stopniu mojego autorstwa) oraz udowodnić, że średnia energia zderzenia  $E_{coll}$  da się przedstawić wyrażeniem wynikającym z opisu zderzenia w układzie środka masy jon-atom:

$$E_{coll} = \frac{75}{58}k_B T_{He} + \frac{4}{29}E_{avg},$$

gdzie  $T_{He}$  jest temperaturą buforowego helu, a  $E_{avg}$  jest średnią energią mikroruchu jonu  $MgH^+$ .

Drugim zagadnieniem było zdefiniowanie temperatury ruchu rotacyjnego, która zdecydowaliśmy się określać na podstawie obsadzenia stanu podstawowego, które można było znaleźć metodą REMPD.

Ostatecznie udało się pokazać doświadczalnie, że z dokładnością do niepewności pomiarowej, energia zderzenia dobrze odpowiada energii temperaturze ruchu rotacyjnego jonu. Dla eksperymentów z pojedynczym jonem udało się uzyskać prawdopodobieństwo obsadzenia stanu podstawowego na poziomie 80%, co było wówczas rekordowym wynikiem. Pomimo upływu czasu, według mojej najlepszej wiedzy, nikomu nie udało się później uzyskać niższej temperatury rotacyjnej. Temperaturę gazu buforowego udało się określić na 7 kelwinów. Ponadto pokazaliśmy, że temperaturę rotacyjną jonów molekularnych można łatwo kontrolować poprzez zmiany geometrii kryształu kulombowskiego. Wyniki pomiarów przedstawia rysunek 2.



Rysunek 2: Rysunek 3 z publikacji [1]. Zależność temperatury ruchu rotacyjnego (uzyskanej na podstawie obsadzenia stanu podstawowego  $J = 0$ ) od temperatury zderzeń określonej w układzie środka masy na podstawie geometrii kryształu jonowego i temperatury gazu buforowego.

t.k.

### 3.3 Eksperymenty w Krajowym Laboratorium FAMO

Od początku mojej pracy z jonami w pułapkach, współpracowałem z grupą prof. Ewy Stachowskiej z Politechniki Poznańskiej. Zespół ten prowadził badania w Krajowym Laboratorium Fizyki Atomowej, Molekularnej i Optycznej w Toruniu [23]. Celem było chwywanie jonów wapnia. Mają one duże znaczenie eksperymentalne: są stosunkowo łatwo dostępne optycznie, nadają się do pośredniego chłodzenia wielu różnych rodzajów jonów, były wielokrotnie stosowane w badaniach nad informacją kwantową, a jednocześnie pozostaje wiele kwestii możliwych do przebadania z ich zastosowaniem.

W ramach współpracy odbyłem krótki staż (trzy wyjazdy w latach 2010-2011, w sumie 4 miesiące) na Uniwersytecie w Innsbrucku w Austrii w grupie prof. Rainera Blatta. W czasie pobytu w Austrii zbudowałem niektóre elementy aparatury używane obecnie w KL FAMO (wnęka optyczna do stabilizacji laserów, prototyp rezonatora helikalnego do zasilania pułapki). Podczas pobytów w 2011 roku, do Austrii została przetransportowana aparatura z KL FAMO. Wówczas przetestowałem pracę niektórych elementów układu doświadczalnego (układ próżniowy, źródła wiązek atomowej i elektronowej, układ obrazowania jonów w pułapce). Wówczas to, po raz pierwszy w aparaturze KL FAMO, udało się spułapkováć nieskrystalizowaną chmurę jonów wapnia i dokonać jej optycznej detekcji.

Aparatura powróciła do Torunia w 2011 i nie była używana do czasu mojego powrotu ze stażu w Danii. Podczas mojego pobytu projekt prowadzony przez Politechnikę Poznańską został zawieszony. Po powrocie wystąpiłem więc do Rady Naukowej KL FAMO o zgodę na udostępnienie mi aparatury badawczej do prowadzenia samodzielnych badań. Uzyskałem ją w 2015 roku, po dłuższej przerwie w pracy (urlop zdrowotny). W tym samym roku otrzymałem grant OPUS z Narodowego Centrum Nauki na prowadzenie badań nad spułapkowanymi jonami w KL FAMO w Toruniu.

Realizacja badań wymagała zgłębienia wielu zagadnień doświadczalnych, teoretycznych i numerycznych. Część numeryczna wymagała przygotowania pakietu procedur umożliwiających wykonanie następujących zadań:

1. Analiza pola pułapki przez rozwiązanie numeryczne równania Laplace'a. Było to konieczne do zaprojektowania geometrii pułapki oraz do późniejszej analizy ruchu elektronów i jonów w polu pułapki.
2. Analiza ruchu jonów (pojedynczy lub zespół) w polu pułapki poprzez rozwiązanie równań ruchu metodą Rungego-Kutty. Pozwalało to na późniejszą analizę danych doświadczalnych przez porównanie wyników symulacji z obrazami chmur jonów oraz na szczegółową analizę stabilności ruchu jonów w pułapce.
3. Analiza ruchu elektronów w polu pułapki. Pozwoliła ona na określenie wpływu pola pułapki na geometrię i natężenie wiązki elektronowej, jak również oszacowanie wpływu pułapki na energię zderzeń elektronowych.
4. Analiza obrazu jonów. Obraz chmury jonów stanowi zazwyczaj rozmyta elipsoidę. Analizowanie parametrów tej bryły (położenie, orientacja, rozmiary, jasność) pozwala na uzyskanie ilościowych danych w niektórych z opisywanych eksperymentów.

Pakiet numeryczny był sukcesywnie przeze mnie rozwijany w trakcie trwania eksperymentu, zatem jego poszczególne elementy są opisywane w kolejnych publikacjach [3, 2, 4, 5].

Modele analityczne opierają się na rozwiązaniach równań Mathieu i podobnych równań dla bardziej złożonych geometrii i przebiegów czasowych potencjału (analiza stabilności pracy pułapki) [24] oraz na klasycznej teorii zderzeń, między innymi na modelu rozpraszania Rutherforda [25] do opisu zderzeń sprężystych elektron-jon. Modele te były publikowane sukcesywnie w pracach opisujących odpowiednie eksperymenty.

t.k.

Część eksperymentalna wymagała zbudowania od podstaw układu doświadczalnego. Wykorzystane zostały niektóre elementy używane w projekcie grupy z Politechniki Poznańskiej (komora próżniowa, kamera). Pozostałe elementy zostały zakupione lub wytworzone od początku. Częściowe wyniki pracy nad budową układu były sukcesywnie przedstawiane jako doniesienia konferencyjne [26, 27, 28, 29].

Wykonano pułapkę jonową według mojego autorskiego projektu. Jej geometria jest zbliżona do pułapki używanej w eksperymencie w Danii [18]. Elementy urządzenia zostały wykonane przez warsztat mechaniczny Instytutu Fizyki UMK w Toruniu. Elektrody pułapki zostały pokryte warstwą złota poprzez wsunięcie ich do cienkościennej, złotej rurki. Jest to moja autorska metoda pozwalająca na unikanie łuszczenia się złota – częstego problemu występującego dla złożonych elementów w warunkach próżniowych. Zbudowany został układ zasilania pułapki z rezonatorem helikalnym.

Zbudowany został kompletny układ optyczny składający się z dwóch laserów diodowych stabilizowanych za pomocą wnęk optycznych, służących do chłodzenia dopplerowskiego jonów. Zbudowano układ detekcji jonów, tzn. wyposażono kamerę w komplet elementów optycznych umożliwiających obrazowanie jonów (soczewki, filtr pasmowy, zwierciadło, przesłony, osłony toru optycznego).

Zbudowano piec wytwarzający wiązkę atomów wapnia w oparciu o własny projekt.

Zbudowano impulsowe działko elektronowe o kontrolowanej energii elektronu wraz z elektronicznym układem sterowania. Szczegółowy opis działka można znaleźć w pracy [3]. Stosowanie działka elektronowego ma pewne zalety w porównaniu do częściej stosowanej fotojonizacji. Jest ono bardziej uniwersalne (fotojonizacja jest bardzo selektywnym procesem, mającym również liczne zalety) i pozwala na uzyskiwanie szerszego wyboru jonów, również molekularnych.

Zbudowano źródło wiązki molekularnej dostosowanej do pracy z różnymi gazami (np. dwutlenek węgla) w oparciu o kapilarę z zaworem naciekowym. Ten element nie został użyty w omawianych eksperymentach, ale znajduje się w aparaturze i umożliwia wytwarzanie wiązek drobin różnych gazów.

Ponadto wykonano liczne drobne prace usprawniające pracę układu doświadczalnego, np:

- Źródło stałego pola magnetycznego ułatwiającego chłodzenie dopplerowskie jonów, zbudowane w oparciu o układ stałych magnesów neodymowych w kontrolowanej geometrii.
- Redukcja tła rejestrowanych obrazów jonów poprzez wymianę systemu oświetlenia laboratorium (oświetlenie diodowe o widmie rozbieżnym z charakterystyką filtrów optycznych układu obrazowania) i instalację filtrów optycznych na elementach szklanych w pomieszczeniu.

Układ doświadczalny był wielokrotnie udoskonalany i dostosowywany do konkretnych zadań doświadczalnych. Jego obecny stan jest przedstawiony w pracy [5].

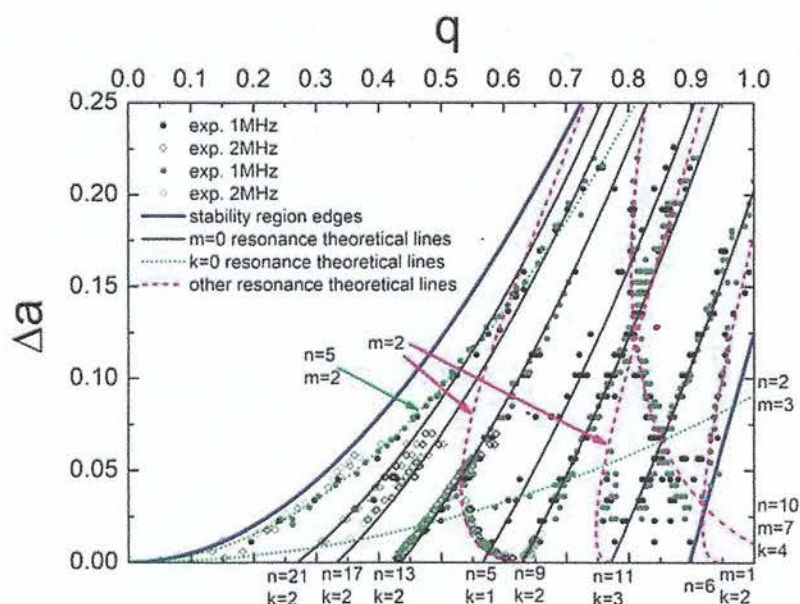
### 3.3.1 Problemy badawcze

#### Rezonanse nieliniowe

Badając doświadczalnie stabilność chmury jonów w pułapce, zaobserwowano występowanie tzw. rezonansów nieliniowych, prowadzących do niestabilności jonów. Zjawisko to było znane wcześniej [30, 31], ale nie było opisywane dla geometrii segmentowej pułapki liniowej, gdzie konieczne jest wprowadzenie dodatkowego parametru stabilności, niestosowanego dla innych geometrii pułapek. W związku z tym efekt został szczegółowo przebadany i opisany w pracy [2].

Źródłem rezonansu okazuje się być niedoskonałość geometrii pola pułapki. W rozwinięciu multipolowym pola, poza dominującymi członami kwadrupolowymi, występują również zaburzenia w postaci multipoli wyższych rzędów. Udało się pokazać numerycznie, że zaburzenie oktupolowe wnosi największy wkład. Uwzględniając jego obecność w symulacjach numerycznych ruchu pojedynczego jonu w pułapce, zidentyfikowano niektóre z obserwowanych doświadczalnie rezonansów. Znaleziono również wyrażenie analityczne opisujące przebieg linii rezonansowych, bardzo dobrze odtwarzające wyniki numeryczne i doświadczalne. Wynik przedstawia rysunek 3.

t.k.



Rysunek 3: Rysunek 12 z publikacji [2]. Rysunek przedstawia fragment diagramu stabilności z najniższą domeną stabilności. Punktami zaznaczone są otrzymane doświadczalnie miejsca występowania rezonansów nieliniowych. Liniami oznaczono przewidywane modelem teoretycznym rezonanse nieliniowe.

Model analityczny przewiduje możliwość występowania większej liczby rezonansów, niż obserwowane w doświadczeniu. Nie zostało wyjaśnione, dlaczego niektórych z linii rezonansowych nie obserwuje się w eksperymencie. Z drugiej strony, liczba rezonansów przewidywana numerycznie jest jeszcze mniejsza niż obserwowanych doświadczalnie. Wyjaśnienie tych rozbieżności jest tematem pracy doktorskiej mgr Katarzyny Pleskacz, w której przewodzi doktorskim pełnię rolę promotora pomocniczego.

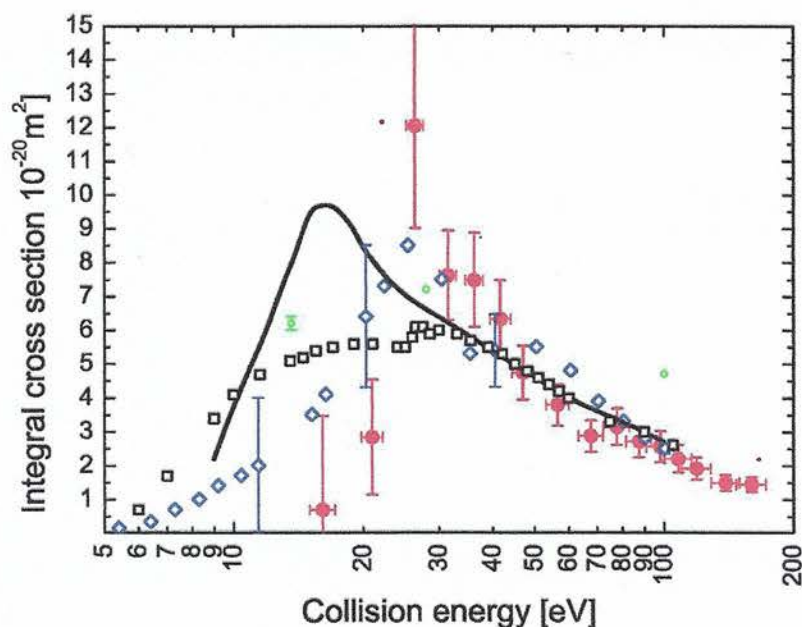
### Przekroje czynne na jonizację wapnia

Zauważono, że szybkość wypełniania pułapki jonami wapnia zależy między innymi od wydajności procesu jonizacji, który w przypadku zderzeń z elektronami, zależy od całkowitego przekroju czynnego na jonizację. Stąd wniosek, że obserwując szybkość pojawiania się nowych jonów w pułapce i znając parametry wiązek elektronowej i atomowej, można oszacować taki przekrój czynny. Stało się to podstawą powstania publikacji [3], gdzie przedstawiliśmy wyniki pomiarów całkowitego przekroju czynnego na jonizację atomu wapnia w zderzeniu z elektronem.

Eksperyment wymagał zastosowania impulsowego działła elektronowego z precyzyjnie definiowanym czasem trwania impulsu, co pozwoliło na dokładniejszą kontrolę procesu jonizacji. Wydajność wiązki elektronowej została oszacowana na podstawie prądów elektronowych zbieranych przez elektrody pułapki i symulacji numerycznych ruchu elektronów w polu pułapki. Ostatecznie otrzymano całkowity przekrój czynny o dość dobrej zgodności z innym dostępnymi zestawami danych [32], zwłaszcza dla większych energii zderzenia. Wynik pomiaru przedstawia rysunek 4.

t.k.





Rysunek 4: Rysunek 10 z publikacji [3]. Wykres przedstawia zależność całkowitego przekroju czynnego na jonizację wapnia od energii zderzenia z elektronem. Czerwonymi punktami oznaczono wyniki uzyskane w pracy [3]. Wyniki porównano z dostępnymi danymi teoretycznymi (linie) i doświadczalnymi (punkty).

### Zderzenia sprężyste elektron-jon

Podczas wielu pomiarów zauważono, że bombardowanie schłodzonych jonów elektronami, wpływa na ich zachowanie, co zostało opisane w pracach [4] i [5]. W obu pracach przygotowano klasyczne, analityczne modele sprężystych zderzeń elektronów z zespołem jonów oraz odpowiadające im modele numeryczne.

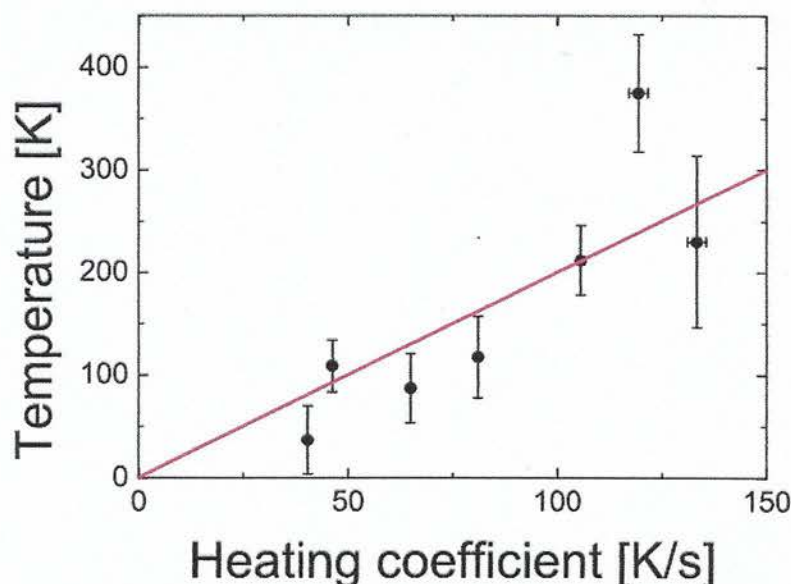
### Przekaz energii

W pracy [4] badano sytuację, gdy zespół jonów jest bombardowany elektronami centralnie. Powinno to spowodować przepchnięcie chmury jonowej przez pęd wiązki elektronowej i podgrzanie jej przez przekaz energii kinetycznej z elektronów do jonów.

W klasycznym modelu rozpraszania Rutherforda na potencjale kulombowskim, oba efekty powinny być znikome. Najbardziej prawdopodobne jest zderzenie przy dużej wartości klasycznego parametru rozpraszania (przy małej wartości kąta rozpraszania), gdzie przekaz energii i pędu jest niewielki.

W proponowanym modelu, rozpraszanie następuje na jednym z wielu możliwych jonów, dzięki czemu efekt przekazu energii jest obserwowalny. Oszacowano teoretyczną wydajność transferu energii do chmury jonowej. W doświadczeniu obserwowano takie podgrzewanie chmury jonów, ale nie zauważono efektu transferu pędu, co jest zgodne z przewidywaniami proponowanego modelu. Temperaturę jonów oszacowano na podstawie poszerzenia się chmury jonowej połączonego z symulacjami numerycznymi zachowania zespołu jonów w różnych temperaturach. Uzyskiwane temperatury były w dobrej zgodności z przewidywaną dynamiką transferu energii w zderzeniach, co przedstawia wykres na rysunku 5.

t.k.



Rysunek 5: Rysunek 6 z publikacji [4]. Wykres przedstawia zależność zmierzonej temperatury zbioru jonów po dwóch sekundach bombardowania elektronami od wyznaczonego współczynnika ogrzewania. Prosta przedstawia przewidywaną zależność teoretyczną między obiema wielkościami.

### Przekaz pędu

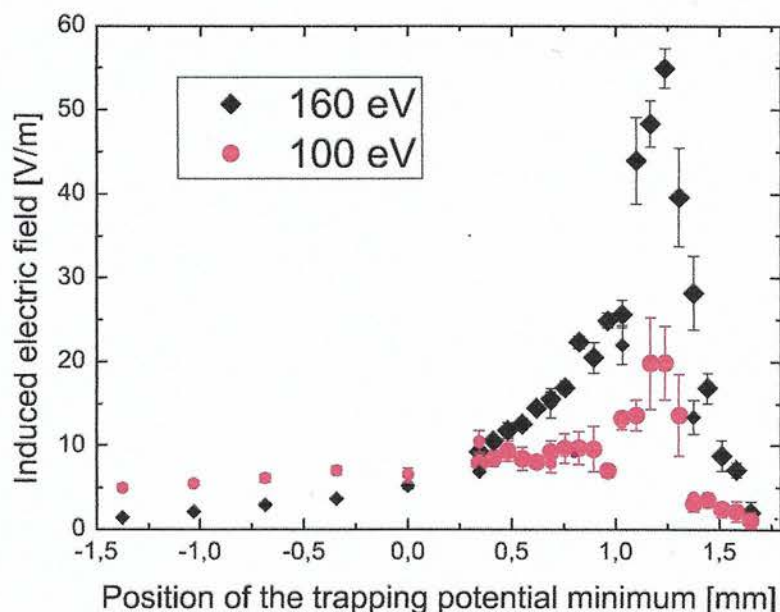
W pracy [5] zauważono, że jeżeli bombardowanie elektronami nie ma charakteru centralnego, a wiązka omija chmurę jonową, to możliwe jest zaobserwowanie przyciągania między dodatnio naładowanymi jonami a ujemnie naładowanymi elektronami. Do układu doświadczalnego wprowadzono możliwość przesuwania chmury jonowej w pułapce wzdłuż osi urządzenia, czyli przemieszczanie jonów względem wiązki elektronów. W ten sposób możliwe było sterowanie odległością jon-elektron. Przyciąganie obserwowano jako przesuwanie się jonów w stronę wiązki elektronowej. Siła przyciągania wzrastała wraz ze zmniejszaniem się odległości aż do pewnej wartości krytycznej, gdzie znów zaczynała maleć. Wynik pomiaru przedstawia wykres na rysunku 6. Efekt ten został wyjaśniony za pomocą prostego modelu analitycznego opartego na rozwiązaniu klasycznego zagadnienia pola elektrycznego wokół jednorodnie naładowanej kuli oraz potwierdzone przewidywaniami modelu numerycznego.

### 3.3.2 Plany na przyszłość

Obecnie planowane jest przeprowadzenie kolejnych badań z użyciem aparatury KL FAMO w Toruniu. Obejmują one przykładowe zagadnienia:

- Zderzeniowa jonizacja jonu wapnia – zagadnienie badane we współpracy z grupą teoretyczną z Australii, obliczenia i pomiary całkowitych przekrojów czynnych przy optycznej selekcji początkowych stanów kwantowych bombardowanego jonu, doświadczenie bliskie ukończenia, prace przerwane przez epidemię CoViD19.
- Pułapka zasilana impulsowo – poprawa jakości otrzymywanych przekrojów czynnych (zmniejszenie niepewności pomiarowych, poprawa rozdzielczości energetycznej), badania zagadnień stabilności.
- Zderzenia z przekazem ładunku między jonami a atomami obojętymi – pośrednia detekcja niektórych rodzajów jonów.

t.k.



Rysunek 6: Rysunek 8 z publikacji [5]. Wykres przedstawia zależność wytwarzanego przez wiązkę elektronową pola elektrostatycznego od położenia minimum potencjału pułapki (pozycja chmury jonowej przekładająca się na odległość elektron-jon). Widać charakterystyczne maksimum dla obu energii elektronu, odpowiadające położeniu brzegu wiązki elektronowej i zerowanie się pola elektrycznego przy centralnym bombardowaniu chmury jonowej w pozycji 1,7 mm.

- Badania nad chłodzeniem pośrednim lekkich jonów – potencjalne zastosowanie w badaniach nad antymaterią – mo/zliwość chłodzenia antyprotonów za pośrednictwem spulapkowanych anionów

## Literatura

- [1] A. K. Hansen, O. O. Versolato, Ł. Kłosowski, S. B. Kristensen, A. Gingell, M. Schwarz, A. Windberger, J. Ullrich, J. R. Crespo Lopez-Urrutia, and M. Drewsen. Efficient rotational cooling of Coulomb-crystallized molecular ions by a helium buffer gas. *Nature*, 508:76–79, 2014.
- [2] Ł. Kłosowski, M. Piwiński, K. Pleskacz, S. Wójtewicz, and D. Lisak. Nonlinear resonances in linear segmented Paul trap of short central segment. *Journal of Mass Spectrometry*, 53:541–547, 2018.
- [3] Ł. Kłosowski, M. Piwiński, S. Wójtewicz, and D. Lisak. Measurement of electron-calcium ionization integral cross section using an ion trap with a low-energy, pulsed electron gun. *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena*, 228:13 – 19, 2018.
- [4] Ł. Kłosowski and M. Piwiński. Energy transfer in elastic collisions between electrons and trapped ions. *Physics of Plasmas*, 25(10):102114, 2018.
- [5] Ł. Kłosowski and M. Piwiński. Attraction between trapped ions and beams of electrons. *AIP Advances*, 10(1):015028, 2020.
- [6] F. G. Major, V. N. Gheorghe, and G. Werth. *Charged particle traps, Physics and techniques of charged particle field confinement*. Springer, 2005.

t.k.

- [7] G. Werth, V. N. Gheorghe, and F. G. Major. *Charged Particle Traps II, Applications*. Springer, 2009.
- [8] W. B. Cairncross, D. N. Gresh, M. Grau, K. C. Cossel, T. S. Roussy, Y. Ni, Y. Zhou, J. Ye, and E. A. Cornell. Precision measurement of the electron's electric dipole moment using trapped molecular ions. *Phys. Rev. Lett.*, 119:153001, Oct 2017.
- [9] J. I. Cirac and P. Zoller. Quantum computations with cold trapped ions. *Phys. Rev. Lett.*, 74:4091–4094, May 1995.
- [10] D. P. DiVincenzo. The physical implementation of quantum computation. *Fortschritte der Physik*, 48:771–783, 2000.
- [11] W. Paul. Electromagnetic traps for charged and neutral particles. *Rev. Mod. Phys.*, 62:531–540, Jul 1990.
- [12] N. Kjaergaard, L. Hornekaer, A. M. Thommesen, Z. Videsen, and M. Drewsen. Isotope selective loading of an ion trap using resonance-enhanced two-photon ionization. *Applied Physics B: Lasers and Optics*, 71:207–210, 2000.
- [13] S. Gulde, D. Rotter, P. Barton, F. Schmidt-Kaler, R. Blatt, and W. Hogervorst. Simple and efficient photo-ionization loading of ions for precision ion-trapping experiments. *Appl. Phys. B*, 73:861–863, 2001.
- [14] K. Chen, S. J. Schowalter, S. Kotochigova, A. Petrov, W. G. Rellergert, S. T. Sullivan, and E. R. Hudson. Molecular-ion trap-depletion spectroscopy of  $\text{BaCl}^+$ . *Phys. Rev. A*, 83:030501, Mar 2011.
- [15] K. Mølhave and M. Drewsen. Formation of translationally cold  $\text{MgH}^+$  and  $\text{MgD}^+$  molecules in an ion trap. *Phys. Rev. A*, 62:011401, Jun 2000.
- [16] S. Stenholm. The semiclassical theory of laser cooling. *Rev. Mod. Phys.*, 58(3):699–739, 1986.
- [17] D. J. Wineland, J. C. Bergquist, Wayne M. Itano, J. J. Bollinger, and C. H. Manney. Atomic-ion Coulomb clusters in an ion trap. *Phys. Rev. Lett.*, 59:2935–2938, Dec 1987.
- [18] M. Schwarz, O. O. Versolato, A. Windberger, F. R. Brunner, T. Ballance, S. N. Eberle, J. Ullrich, P. O. Schmidt, A. K. Hansen, A. D. Gingell, M. Drewsen, and J. R. Crespo López-Urrutia. Cryogenic linear Paul trap for cold highly charged ion experiments. *Review of Scientific Instruments*, 83(8):083115, 2012.
- [19] P. Sta anum, K. Høj bjerre, P. S. Skyt, A. K. Hansen, and M. Drewsen. Rotational laser cooling of vibrationally and translationally cold molecular ions. *Nature Physics*, 6(4):271–274, 2010.
- [20] K. Høj bjerre, A. K. Hansen, P. S. Skyt, P. F. Sta anum, and M. Drewsen. Rotational state resolved photodissociation spectroscopy of translationally and vibrationally cold  $\text{MgH}^+$  ions: toward rotational cooling of molecular ions. *New Journal of Physics*, 11(5):055026, may 2009.
- [21] O. O. Versolato, M. Schwarz, A. K. Hansen, A. D. Gingell, A. Windberger, Ł. Kłosowski, J. Ullrich, F. Jensen, J. R. Crespo López-Urrutia, and M. Drewsen. Decay rate measurement of the first vibrationally excited state of  $\text{MgH}^+$  in a cryogenic paul trap. *Phys. Rev. Lett.*, 111:053002, Jul 2013.

t.k.

- [22] [https://static-content.springer.com/esm/art%3a10.1038%2fnature12996/mediaobjects/41586\\_2014\\_bfnature12996\\_moesm5\\_esm.pdf](https://static-content.springer.com/esm/art%3a10.1038%2fnature12996/mediaobjects/41586_2014_bfnature12996_moesm5_esm.pdf), 2014.
- [23] <http://famo.fizyka.umk.pl/index.php/pl/pulapki-paula>, 2019. webpage of the ion traps group at National Laboratory FAMO.
- [24] E.D. Courant and H.S. Snyder. *Ann. Phys.*, 3:1, 1958.
- [25] E. Rutherford. The scattering of alpha and beta particles by matter and the structure of the atom. *Philosophical Magazine*, 21:669–688, 1911.
- [26] Ł. Kłosowski, M. Piwiński, and M. Drewsen. Integral electron impact ionization cross section of molecules through Coulomb crystallization of the product ions. *Journal of Physics Conference Series*, 635:072003, 2015.
- [27] Ł. Kłosowski, M. Piwiński, S. Wójtewicz, D. Lisak, M. Drewsen, K. Pleskacz, and S. Chwirut. Electron impact ionization of calcium atoms inside quadrupole trap. *Journal of Physics: Conference Series*, 875:052008, 2017.
- [28] Ł. Kłosowski, K. Pleskacz, S. Wójtewicz, D. Lisak, and M. Piwiński. Optical system for Doppler cooling of trapped calcium ions. *Photonics Letters of Poland*, 9(4):119–121, 2017.
- [29] Ł. Kłosowski and M. Piwiński. Energy and momentum transfer in electron-ion elastic collisions. *Journal of Physics: Conference Series*, 875(6):052009, 2017.
- [30] F. von Busch and W. Paul. Uber nichtlineare Resonanzen im elektrischen Massenfilter als Folge von Feldfehlern. *Z. Phys*, 164(161):588–594, 1961.
- [31] D. Snyder, W.-P. Peng, and R. G. Cooks. Resonance methods in quadrupole ion traps. *Chemical Physics Letters*, 668:69–89, 11 2016.
- [32] D. Cvejanovic and A. J. Murray. Single ionization of calcium by electron impact. *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.*, 36:3591–3605, 2003.

Ł.K.

## **4 Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni lub instytucji naukowej, w szczególności zagranicznej**

### **4.1 Uniwersytet w Innsbrucku**

W latach 2010-2011: trzy krótkie wizyty (w sumie 4 miesiące) na Uniwersytecie w Innsbrucku i w Institute for Quantum Optics and Quantum Information (IQOQI) w Innsbrucku w Austrii, w grupie prof. Rainera Blatta. Pobyty związane ze współpracą między Krajowym Laboratorium FAMO w Toruniu (grupa prof. Ewy Stachowskiej z Politechniki Poznańskiej).

### **4.2 Uniwersytet w Aarhus**

W latach 2011-2012: staż podoktorski na Uniwersytecie w Aarhus w Danii, w grupie prof. Michaela Drewsena. Praca nad jonami molekularnymi w pułapce Paula we współpracy z Uniwersytetami w Aarhus i w Heidelbergu (grupa prof. Jose R. Crespo Lopez-Urrutia). Staż zaowocował dwiema istotnymi publikacjami (Phys. Rev. Lett. i Nature), licznymi doniesieniami konferencyjnymi oraz późniejszą współpracą.

## **5 Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę**

### **5.1 Działalność dydaktyczna przed doktoratem**

1. 2004 - 2005 :

- (a) Fizyka ogólna III (optyka) (ćwiczenia) 1 gr.
- (b) Pracownia fizyczna I (laboratorium) 2 gr.

2. 2005 - 2006 :

- (a) Pracownia fizyczna I (laboratorium) 1 gr.

3. 2006 - 2007 :

- (a) Pracownia fizyczna I (laboratorium) 1 gr.

4. 2007 - 2008 :

- (a) Pracownia fizyczna I (laboratorium) 1 gr.

### **5.2 Działalność dydaktyczna po doktoracie**

1. 2008 - 2009 :

- (a) Pracownia fizyczna I (laboratorium) 2 gr.
- (b) Teoria obwodów (ćwiczenia) 1 gr.
- (c) Podstawy mechaniki (ćwiczenia) 2 gr.
- (d) Instalacje i urządzenia elektryczne (wykład) 1 gr.

- (e) Fizyka (dla chemii dziennej) (ćwiczenia) 2 gr.
2. 2009 - 2010 :
- (a) Pracownia fizyczna I (laboratorium) 1 gr.
  - (b) Instalacje i urządzenia elektryczne (wykład) 1 gr.
  - (c) Podstawy mechaniki (wykład) 1 gr. (zastępstwo, 2h)
  - (d) Elektrotechnika (ćwiczenia) 3 gr.
  - (e) System opieki indywidualnej (konwersatorium) 1 gr.
3. 2010 - 2011 :
- (a) Pracownia fizyczna I (laboratorium) 1 gr.
  - (b) Teoria obwodów (ćwiczenia) 3 gr.
  - (c) Elektrotechnika (ćwiczenia) 3 gr.
  - (d) Instalacje i urządzenia elektryczne (wykład) 1 gr.
  - (e) System opieki indywidualnej (konwersatorium) 1 gr.
4. 2012 - 2013 :
- (a) Fizyka elementarna (ćwiczenia) 1 gr.
  - (b) Pracownia fizyczna I (laboratorium) 1 gr.
  - (c) Wprowadzenie do studiowania (ćwiczenia) 2 gr.
  - (d) Teoria obwodów dla fizyki technicznej (ćwiczenia) 1 gr.
  - (e) Teoria obwodów i elektrotechnika (ćwiczenia) 2 gr.
5. 2013 - 2014 :
- (a) Elementy fizyki - pracownia (laboratorium) 1 gr.
  - (b) Fizyka elementarna (ćwiczenia) 1 gr.
  - (c) Fizyka ogólna III (optyka) (ćwiczenia) 1 gr.
  - (d) Metody matematyczne fizyki I (ćwiczenia) 1 gr.
  - (e) Podstawy elektroniki (laboratorium) 1 gr.
  - (f) Wprowadzenie do studiowania (laboratorium) 2 gr.
6. 2015 - 2016 :
- (a) Podstawy elektroniki (laboratorium) 1 gr.
  - (b) Instalacje i urządzenia elektryczne (laboratorium) 1 gr.
  - (c) Fizyka ogólna 2 - elektryczność i magnetyzm (ćwiczenia) 1 gr.
  - (d) Algebra 1 (ćwiczenia) 1 gr.
  - (e) Podstawy mechaniki (ćwiczenia) 1 gr.
  - (f) Teoria obwodów (ćwiczenia) 1 gr.
7. 2016 - 2017 :

- (a) Instalacje i urządzenia elektryczne (laboratorium) 2 gr.
- (b) Fizyka ogólna 2 - elektryczność i magnetyzm (ćwiczenia) 1 gr.
- (c) Algebra 1 (ćwiczenia) 1 gr.
- (d) Podstawy mechaniki (ćwiczenia) 1 gr.
- (e) Teoria obwodów (ćwiczenia) 1 gr.
- (f) Nowoczesne techniki eksperymentalne (wykład dla doktorantów, 4h w cyklu wykładów prowadzonych przez różnych wykładowców) 1 gr.

8. 2017 - 2018 :

- (a) Instalacje i urządzenia elektryczne (laboratorium) 1 gr.
- (b) Fizyka ogólna 2 - elektryczność i magnetyzm (ćwiczenia) 1 gr.
- (c) Algebra 1 (ćwiczenia) 1 gr.
- (d) Podstawy mechaniki (ćwiczenia) 1 gr.
- (e) Teoria obwodów (ćwiczenia) 1 gr.

9. 2018 - 2019 :

- (a) Instalacje i urządzenia elektryczne (laboratorium) 1 gr.
- (b) Fizyka ogólna 2 - elektryczność i magnetyzm (ćwiczenia) 1 gr.
- (c) Algebra 1 (ćwiczenia) 1 gr.
- (d) Podstawy mechaniki (ćwiczenia) 1 gr.
- (e) Nowoczesne techniki eksperymentalne (wykład dla doktorantów, 4h w cyklu wykładów prowadzonych przez różnych wykładowców) 1 gr. (wykład w języku angielskim)
- (f) Podstawy elektroniki (laboratorium) 1 gr.

10. 2019 - 2020 :

- (a) Instalacje i urządzenia elektryczne (laboratorium) 1 gr.
- (b) Fizyka ogólna 2 - elektryczność i magnetyzm (ćwiczenia) 1 gr.
- (c) Algebra 1 (ćwiczenia) 2 gr.
- (d) Podstawy mechaniki (ćwiczenia) 1 gr.

### 5.3 Działalność popularyzująca naukę

1. Wykład dla nauczycieli w ramach programu „Aktualne kierunki badań w fizyce i astronomii”, Instytut Fizyki UMK, 14 marca 2019, wykład pt. „Pułapki jonowe i ich zastosowania”
2. Wykład dla uczestników programu TAPS, Instytut Fizyki UMK, 10 sierpnia 2017, „Quantum information with trapped ions. Can we teleport an atom?”

t.k.



#### **5.4 Opieka nad pracami dyplomowymi**

1. praca inżynierska: Kornel Nowacki, „Szybki wzmacniacz impulsów”, Automatyka i Robotyka, 2010
2. praca inżynierska: Mikołaj Filar, „System pozycjonowania detektora fotonów”, Automatyka i Robotyka, 2012
3. praca inżynierska: Łukasz Kluczewski, „Projekt pułapki pyłkowej”, Fizyka Techniczna, 2016
4. praca licencjacka: Uladzislau Liavistski, „Układ zasilania pułapki liniowej”, Fizyka, 2020, praca w trakcie realizacji

#### **5.5 Opieka nad doktorantami**

1. 2019-obecnie: promotor pomocniczy w przewodzie doktorskim mgr. Katarzyny Pleskacz

#### **5.6 Opieka nad studentami-praktykantami w ramach programu „The Toruń Astrophysics/Physics Summer Program” (TAPS)**

1. 2017: Toma Petrinović, University of Zagreb, Zagrzeb, Chorwacja, 4 tygodnie. Student wykonywał pod moim kierunkiem elementy układu zasilania pułapki Paula oraz testował ich działanie.
2. 2018: Ivana Puljić, University of Zagreb, Zagrzeb, Chorwacja, 4 tygodnie. Studentka przygotowywała pod moim kierunkiem procedury numeryczne do analizy obrazu i symulacji dynamiki molekularnej jonów w pułapce.

#### **5.7 Działalność dydaktyczna w Wyższej Szkole Nauk o Zdrowiu w Bydgoszczy 2019-2020**

1. Optyka Fizjologiczna dla kierunku Optometria (20h)
2. Optyka Okularowa dla kierunku Optometria (20h)

#### **5.8 Referaty wygłoszone w innych ośrodkach badawczych polskich i zagranicznych**

1. 28 czerwca 2010, Institute for Quantum Optics and Quantum Information, Innsbruck, Austria, Coincidence investigation of electron-atom collisions as an example of "perfect" scattering experiment
2. 13 listopada 2011, Aarhus University, Aarhus, Dania, Coincidence measurements of electron impact coherence parameters – the example of "perfect" electron scattering experiment
3. 28 listopada 2014, Politechnika Gdańska, Chłodzenie jonów molekularnych w pułapce Paula
4. 19 maja 2016, Uniwersytet Gdański, Jony molekularne w pułapce kwadrupolowej
5. 30 maja 2016, Uniwersytet Jagielloński, Kraków, Trapped molecular ions
6. 10 czerwca 2016, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, Jony molekularne w pułapce Paula

t.k.

7. 27 października 2016, Uniwersytet Warszawski, Wytwarzanie i chłodzenie jonów molekularnych w pułapkach
8. 26 listopada 2018, Instytut Fizyki PAN, Warszawa, Zderzenia w eksperymentach wiązkowych i w pułapkach jonowych
9. 23 maja 2019, Uniwersytet Warszawski, Collisions in crossed beam and ion trap experiments
10. 26 września 2019, Palacky University Olomouc, Ołomuniec, Czechy, Collisions of electrons, atoms and trapped ions

### **5.9 Kolokwia czwartkowe w Instytucie Fizyki UMK**

1. 7 marca 2013, Badania jonów i ich małych zespołów w pułapkach kwadrupolowych
2. 7 czerwca 2018, Zderzenia w kwadrupolowych pułapkach jonowych

### **5.10 Referaty na seminarium Zakładu Fizyki Atomowej, molekularnej i Optycznej**

1. 13 listopada 2009, Electron impact excitation of helium triplet P states
2. 7 stycznia 2011, Jony  $\text{Ca}^+$  w pułapce kwadrupolowej
3. 30 listopada 2012, Chłodzenie stanów rotacyjnych jonów  $\text{MgH}^+$  w pułapce kwadrupolowej
4. 6 listopada 2015, Jony molekularne w pułapce Paula
5. 17 listopada 2017, Stability of ions in a linear, segmented Paul trap

### **5.11 eCOST**

Od roku 2018 jestem członkiem komitetu zarządzającego (Management Committee Member) akcji "CA17113, Trapped Ions: Progress in classical and quantum applications" w ramach eCOST (European Cooperation in Science and Technology), nominowanym do tej funkcji przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego. W ramach tej akcji jestem członkiem grupy roboczej "WG1 - Tools and Infrastructure". Pełnię również funkcję koordynatora do spraw STSM (Short Term Scientific Missions).

### **5.12 Rada Instytutu Fizyki i Rada Dyscypliny Nauki Fizyczne**

W latach 2017-2019 byłem członkiem Rady Instytutu Fizyki UMK. Po reformie ustroju Uniwersytetu w 2019 zostałem wybrany na członka Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne działającej w Instytucie Fizyki UMK.

### **5.13 Inicjatywa Doskonałości – Uniwersytet Badawczy**

Jestem członkiem zespołu „Quantum systems for fundamental research group”, który został wyłoniony w konkursie wewnątrzunwersyteckim w roku 2019 jako zespół priorytetowy w ramach IDUB na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika.

t.k.

## 5.14 Komisje programowe dla nowego kierunku studiów

Jestem członkiem komisji programowych dla nowoplanowanych kierunków studiów na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UMK:

1. Mechatronika: studia II stopnia (komisja zakończyła działalność)
2. Automatyka i Robotyka: studia II stopnia

## 6 Pozostałe informacje

### 6.1 Nagrody i wyróżnienia

Prace związane z prezentowanym osiągnięciem naukowym były dwukrotnie nagradzane przez Rektora UMK:

1. Zespołowa Nagroda Rektora UMK III stopnia za działalność naukową, 2015 (nagrodzono publikację w tygodniku Nature z 2014 roku)
2. Zespołowe Wyróżnienie Rektora UMK za działalność naukową, 2019 (nagrodzono budowę stanowiska doświadczalnego w KL FAMO)

### 6.2 Współpraca krajowa i międzynarodowa

W pracy naukowej współpracuję z kilkoma ośrodkami krajowymi z zagranicznymi. Współpraca ma charakter nieformalny (brak podpisanych oficjalnych deklaracji współpracy)

1. Curtin University, Perth, Australia, prof. I. Bray i prof. D. Fursa – współpraca z grupą teoretyków zapewniających dane numeryczne komplementarne do naszych danych doświadczalnych (metoda convergent close coupling pozwalająca znajdować przekroje czynne i parametry spójności rozpraszania)
2. Indian Institute of Technology, Roorkee, Indie, grupa prof. R. Srivastavy – współpraca z grupą teoretyków zapewniających dane numeryczne komplementarne do naszych danych doświadczalnych (metoda relativistic distorted wave approximation pozwalająca znajdować przekroje czynne i parametry spójności rozpraszania)
3. Uniwersytet w Innsbrucku oraz Institute for Quantum Optics and Quantum Information (IQOQI), Innsbruck, Austria, grupa prof. R. Blatta – wizyty u partnera zagranicznego, wsparcie technologiczne w budowie układu doświadczalnego (budowa układu stabilizacji systemów laserowych w oparciu o wnęki optyczne)
4. Uniwersytet w Aarhus, Dania, grupa prof. M. Drewsena, staż podoktorski i późniejsza współpraca w badaniach nad jonami molekularnymi
5. Uniwersytet w Heidelbergu, Niemcy, grupa prof. Jose R. Crespo Lopez-Urrutia – współpraca podczas stażu podoktorskiego w Danii
6. Uniwersytet Palacký'ego w Ołomuńcu, grupa dr. L. Slodički – współpraca technologiczna przy projektowaniu układów doświadczalnych (budowa pułapek kwadrupolowych i systemów zasilania dla pułapek)

t.k.

7. Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk, Warszawa, prof. T. Sowiński – współpraca przy interpretacji zjawisk wielociałowych zachodzących w zespołach jonów w pułapkach (kontynuacja badań nad rezonansami nieliniowymi przy większej liczbie jonów w pułapce)
8. Politechnika Poznańska, grupa prof. Ewy Stachowskiej w latach 2010-2013. Współpraca przy projekcie dotyczącym jonów w pułapkach w Krajowym Laboratorium FAMO w Toruniu
9. Politechnika Gdańska, grupa prof. M. Zubka w latach 2004-2011 – wsparcie technologiczne przy budowie układów doświadczalnych do spektroskopii elektronowej (budowa niskoenergetycznego działła elektronowego i cewek typu magnetic angle changer)

*Łukasz Kłosowski*  
.....

(podpis wnioskodawcy)

# Wykaz osiągnięć

Łukasz Kłosowski

## 1 INFORMACJA O OSIĄGNIĘCIACH NAUKOWYCH ALBO ARTYSTYCZNYCH, O KTÓRYCH MOWA W ART. 219 UST. 1. PKT 2 USTAWY

Tytuł osiągnięcia: Wybrane zjawiska zderzeniowe i rezonansowe w pułapkach jonowych

1. A. K. Hansen, O. O. Versolato, Ł. Kłosowski, S. B. Kristensen, A. Gingell, M. Schwarz, A. Windberger, J. Ullrich, J. R. Crespo López-Urrutia, M. Drewsen, *Nature* **508** (2014) 76-79, Efficient rotational cooling of Coulomb-crystallized molecular ions by a helium buffer gas, wraz z materiałem dodatkowym dostępnym online:  
[https://static-content.springer.com/esm/art%3A10.1038%2Fnature12996/MediaObjects/41586\\_2014\\_BFnature12996\\_MOESM5\\_ESM.pdf](https://static-content.springer.com/esm/art%3A10.1038%2Fnature12996/MediaObjects/41586_2014_BFnature12996_MOESM5_ESM.pdf)  
IF: 41,456, punkty MNiSW: 50

Mój wkład polegał na przeprowadzeniu części eksperymentu na analizie danych oraz przygotowaniu części manuskryptu. W szczególności brałem udział w przeprowadzeniu serii pomiarów obsadzeń stanów rotacyjnych jonów molekularnych w różnych warunkach chłodzenia. W ramach analizy danych zaproponowałem sposób określenia temperatury rotacyjnej na podstawie wyników pomiaru obsadzeń stanu podstawowego. Wyprowadziłem analitycznie zależność średniej energii zderzenia jon-atom od temperatury gazu buforowego i geometrii kryształu jonowego. Opisałem analitycznie postać rozkładu statystycznego prędkości zderzeń atom-jon.

2. Ł. Kłosowski, M. Piwiński, K. Pleskacz, S. Wójtewicz, D. Lisak, *Journal of Mass Spectrometry* **53** (7) (2018) 541-547, Nonlinear resonances in linear segmented Paul trap of short central segment,  
IF: 2,267, punkty MNiSW: 35

Mój wkład polegał na zbudowaniu układu doświadczalnego, wykonaniu istotnej części eksperymentu i analizie danych. Przygotowałem przedstawiony w artykule model analityczny opisujący zjawisko rezonansu nieliniowego dla stosowanej w doświadczeniu geometrii potencjału. Przygotowałem model numeryczny, zaimplementowałem go i przeprowadziłem symulacje umożliwiające interpretację wyników. Koncepcja pracy była moim pomysłem. Przygotowałem manuskrypt artykułu wraz ze wszystkimi rysunkami.

3. Ł. Kłosowski, M. Piwiński, S. Wójtewicz, D. Lisak, *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena* **228** (2018) 13-19, Measurement of electron-calcium ionization integral cross section using an ion trap with a low-energy, pulsed electron gun,  
IF: 1,343, punkty MNiSW: 25

Mój wkład polegał na dostosowaniu układu doświadczalnego do eksperymentu, wykonaniu istotnej części eksperymentu i analizie danych. Przygotowałem procedurę obliczenia numerycznie ruchu elektronu w polu pułapki i przeprowadziłem za jej pomocą serię symulacji. Koncepcja pracy była moim pomysłem. Przygotowałem manuskrypt artykułu wraz ze wszystkimi rysunkami.

t.k.

4. Ł. Kłosowski, M. Piwiński, *Physics of Plasmas* **25** (10) (2018) 102114, Energy transfer in elastic collisions between electrons and trapped ions,  
IF: 1,913, punkty MNiSW: 30  
Mój wkład polegał na dostosowaniu układu doświadczalnego do eksperymentu i wykonaniu istotnej części eksperymentu. Przygotowałem model analityczny opisujący zjawiska przekazu energii i pędu w zderzeniu sprężystym elektron-jon. Przygotowałem model numeryczny i przeprowadziłem serię symulacji umożliwiających interpretację wyników. Koncepcja pracy była moim pomysłem. Byłem osobą odpowiedzialną za przygotowanie manuskryptu artykułu i wszystkich rysunków.
5. Ł. Kłosowski, M. Piwiński, *AIP Advances* **10** (1) (2020) 015028, Attraction between trapped ions and beams of electrons,  
IF: 1,579, punkty MNiSW: 70  
Mój wkład polegał na dostosowaniu układu doświadczalnego do eksperymentu, wykonaniu istotnej części eksperymentu opisanego w artykule i analizie uzyskanych danych. Przygotowałem przedstawiony w artykule model analityczny opisujący badane zjawisko. Przygotowałem model numeryczny i przeprowadziłem serię symulacji umożliwiających interpretację wyników. Koncepcja pracy była moim pomysłem. Byłem osobą odpowiedzialną za przygotowanie manuskryptu artykułu i wszystkich rysunków.

## 2 INFORMACJA O AKTYWNOŚCI NAUKOWEJ ALBO ARTYSTYCZNEJ

### 2.1 Wykaz opublikowanych artykułów w czasopismach naukowych

Gwiazdką zaznaczono artykuły wchodzące w skład osiągnięcia. Współczynniki IF podano dla roku publikacji. Wyjątek stanowi pierwsza pozycja, dla której ze względu na brak informacji o IF dla roku 2020, przyjęto wartość z 2018 roku. Liczbę punktów Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego podano zgodnie z tabelą z 2019, a w nawiasie zgodnie z rokiem publikacji.

#### 2.1.1 Po doktoracie

1. \* Ł. Kłosowski, M. Piwiński, *AIP Advances* **10** (1) (2020) 015028, Attraction between trapped ions and beams of electrons,  
IF: 1,579 (2018), punkty MNiSW: 70 (70)
2. \* Ł. Kłosowski, M. Piwiński, K. Pleskacz, S. Wójtewicz, D. Lisak, *Journal of Mass Spectrometry* **53** (7) (2018) 541-547, Nonlinear resonances in linear segmented Paul trap of short central segment,  
IF: 2,267, punkty MNiSW: 70 (35)
3. \* Ł. Kłosowski, M. Piwiński, *Physics of Plasmas* **25** (10) (2018) 102114, Energy transfer in elastic collisions between electrons and trapped ions,  
IF: 1,913, punkty MNiSW: 100 (30)
4. \* Ł. Kłosowski, M. Piwiński, S. Wójtewicz, D. Lisak, *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena* **228** (2018) 13-19, Measurement of electron-calcium ionization integral cross section using an ion trap with a low-energy, pulsed electron gun,  
IF: 1,343, punkty MNiSW: 70 (25)

L.K

5. \* A. K. Hansen, O. O. Versolato, **Ł. Kłosowski**, S. B. Kristensen, A. Gingell, M. Schwarz, A. Windberger, J. Ullrich, J. R. Crespo López-Urrutia, M. Drewsen, *Nature* **508** (2014) 76-79, Efficient rotational cooling of Coulomb-crystallized molecular ions by a helium buffer gas, IF: 41,456, punkty MNiSW: 200 (50)
6. M. Piwiński, **Ł. Kłosowski**, S. Chwiot, D.V. Fursa, I. Bray, T. Das, R. Srivastava, *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics* **51** (8) (2018) 085002, Electron-impact coherence parameters for  $4^1P_1$  excitation of zinc, IF: 2,115, punkty MNiSW: 70 (30)
7. M. Piwiński, **Ł. Kłosowski** *Vacuum* **156** (2018) 154-156, An efficient high-vacuum thermo-electric cold trap for metal atomic vapours, IF: 2,515, punkty MNiSW: 70 (25)
8. M. Piwiński, **Ł. Kłosowski**, S. Chwiot, *Acta Physica Polonica* **134** (2018) 605-608, Peculiar Energy-Scattering Angle Dependence of the Alignment Angle of Atoms Excited by Electron Impact, IF: 0,545, punkty MNiSW: 40 (15)
9. **Ł. Kłosowski**, K. Pleskacz, S. Wójtewicz, D. Lisak, M. Piwiński, *Photonics Letters of Poland* **9** (2017) 119-121, Optical system for Doppler cooling of trapped calcium ions, IF: 0,53, punkty MNiSW: 40 (10)
10. **Ł. Kłosowski**, M. Piwiński, S. Wójtewicz, D. Lisak, M. Drewsen, K. Pleskacz, S. Chwiot, *Journal of Physics: Conference Series* **875** (6) (2017) 052008, Electron impact ionization of calcium atoms inside quadrupole trap, IF: 0,52, punkty MNiSW: 40 (15)
11. **Ł. Kłosowski**, M. Piwiński *Journal of Physics: Conference Series* **875** (6) (2017) 052009, Energy and momentum transfer in electron-ion elastic collisions, IF: 0,52, punkty MNiSW: 40 (15)
12. M. Piwiński, D. Dziczek, **Ł. Kłosowski**, S. Chwiot, *Journal of Physics: Conference Series* **875** (6) (2017) 052010, Electronic excitation of P-state of cadmium and zinc atoms, IF: 0,52, punkty MNiSW: 40 (15)
13. **Ł. Kłosowski**, M. Piwiński, M. Drewsen, *Journal of Physics: Conference Series* **635** (7) (2015) 072003, Integral electron impact ionization cross section of molecules through Coulomb crystallization of the product ions, IF: 0,53, punkty MNiSW: 40 (15)
14. M. Piwiński, **Ł. Kłosowski**, D. Dziczek, S. Chwiot, D.V. Fursa, I. Bray, *Physical Review A* **91** (6) (2015) 062704,  $4^1P_1$  Zn excitation by 80-eV electrons, IF: 2,765, punkty MNiSW: 100 (35)
15. M. Piwiński, **Ł. Kłosowski**, D. Dziczek, S. Chwiot, *Journal of Physics: Conference Series* **635** (9) (2015) 092003, Electron impact excitation of  $4^1P_1$  zinc state for 40 eV incidence energy, IF: 0,53, punkty MNiSW: 40 (15)
16. M. Piwiński, **Ł. Kłosowski**, D. Dziczek, S. Chwiot, D.V. Fursa, I. Bray, *Journal of Physics: Conference Series* **635** (9) (2015) 092102, e-Zn inelastic scattering at 80 eV, IF: 0,53, punkty MNiSW: 40 (15)

Ł.K.

17. O. O. Versolato, M. Schwarz, A. K. Hansen, A. D. Gingell, A. Windberger, **Ł. Kłosowski**, J. Ullrich, F. Jensen, J. R. Crespo López-Urrutia, M. Drewsen, *Physical Review Letters* **111** (2013) 053002, Decay Rate Measurement of the First Vibrationally Excited State of  $\text{MgH}^+$  in a Cryogenic Paul Trap,  
IF: 7,728, punkty MNiSW: 200 (45)
18. M. Piwiński, **Ł. Kłosowski**, D. Dziczek, S. Chwirot, *The European Physical Journal Special Topics* **222** (9) (2013) 2273-2277, Experimental investigation of electron impact excitation of zinc atoms to the  $4^1P_1$  state,  
IF: 1,76, punkty MNiSW: 70 (25)
19. M. Piwiński, **Ł. Kłosowski**, D. Dziczek, S. Chwirot, T. Das, R. Srivastava, A.D. Stauffer, C.J. Bostock, D.V. Fursa, I. Bray, *Physical Review A* **86** (5) (2012) 052706, Electron excitation of the  $4^1P_1$  state of a zinc atom,  
IF: 3,042, punkty MNiSW: 100 (40)
20. M. Piwiński, **Ł. Kłosowski**, D. Dziczek, S. Chwirot, *Journal of Physics: Conference Series* **388** (2012) 042011, Coincidence measurements of electron impact excitation of the  $4^1P_1$  state of Zn,  
IF: 0, punkty MNiSW: 40 (10)
21. D. Dziczek, **Ł. Kłosowski**, M. Piwiński, S. Chwirot, *Journal of Physics: Conference Series* **388** (2012) 142002, Coincidence investigation of electron impact excitation of He atoms to triplet states in full range of scattering angles—feasibility study,  
IF: 0, punkty MNiSW: 40 (10)
22. **Ł. Kłosowski**, M. Piwiński, D. Dziczek, K. Pleskacz, S. Chwirot, *Physical Review A* **80** (6) (2009) 062709, Coincidence measurements of electron-impact coherence parameters for e-He scattering in the full range of scattering angles,  
IF: 2,866, punkty MNiSW: 100 (24)

### 2.1.2 Przed doktoratem

1. **Ł. Kłosowski**, M. Piwiński, D. Dziczek, K. Wiśniewska, S. Chwirot, *Measurement Science and Technology* **18** (12) (2007) 3801, Magnetic angle changer—a new device allowing extension of electron–photon coincidence measurements to arbitrarily large electron scattering angles,  
IF: 1,297, punkty MNiSW: 70 (24)
2. **Ł. Kłosowski**, M. Piwiński, D. Dziczek, K. Wiśniewska, M. Zubek, S. Chwirot, *The European Physical Journal Special Topics* **144** (1) (2007) 173-177, Coincidence investigation of inelastic electron–atom collisions with magnetic selection of scattering angle—feasibility study,  
IF: 0, punkty MNiSW: 70 (3)
3. K. Wiśniewska, D. Dziczek, **Ł. Kłosowski**, M. Piwiński, S. Chwirot, *The European Physical Journal Special Topics* **144** (1) (2007) 167-171, Model of collision-induced constructive quantum interference,  
IF: 0, punkty MNiSW: 70 (3)
4. M. Piwiński, D. Dziczek, **Ł. Kłosowski**, R. Srivastava, S. Chwirot, *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics* **39** (8) (2006) 1945, Coincidence study of excitation of cadmium atoms by electron impact,  
IF: 2,024, punkty MNiSW: 70 (20)

L.K.



5. C. Szmytkowski, M. Piotrowicz, A. Domaracka, **Ł. Kłosowski**, E. Ptasińska-Denga, G. Kasperski, *The Journal of chemical physics* **121** (4) (2004) 1790-1795, Electron collisions with trifluorides: BF<sub>3</sub> and PF<sub>3</sub> molecules, IF: 3,105, punkty MNiSW: 100 (13)
6. C. Szmytkowski, A. Domaracka, P. Mozejko, E. Ptasińska-Denga, **Ł. Kłosowski**, M. Piotrowicz, G. Kasperski, *Physical Review A* **70** (3) (2004) 032707, Electron collisions with nitrogen trifluoride (NF<sub>3</sub>) molecules, IF: 2,902, punkty MNiSW: 100 (12)
7. C. Szmytkowski, **Ł. Kłosowski**, A. Domaracka, M. Piotrowicz, E. Ptasińska-Denga, *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics* **37** (9) (2004) 1833, Scattering of electrons from hydride molecules: PH<sub>3</sub>, IF: 1,761, punkty MNiSW: 70 (10)

## 2.2 Informacja o wystąpieniach na krajowych lub międzynarodowych konferencjach naukowych lub artystycznych, z wyszczególnieniem przedstawionych wykładów na zaproszenie i wykładów plenarnych.

1. Gaseous Electronics Conference (GEC) 2008, Dallas, USA, 13-17.X.2008, **Ł. Kłosowski**, M. Piwiński, D. Dżiczek, K. Pleskacz, S. Chwirot, Electron-photon coincidence experiment in full scattering angle range
2. Scattering Day, Gdańsk, 3.XII.2010, **Ł. Kłosowski**, Coincidence measurements of electron impact coherence parameters, wykład na zaproszenie
3. Workshop on Atomic and Molecular Physics, Jurata, IX.2012, Molecular ions in quadrupole traps
4. Warsztaty Naukowe FoKA (Fotony-Kwanty-Atomy), Kazimierz Dolny, 13-15.IX.2017, Jony w pułapkach w Krajowym Laboratorium FAMO w Toruniu
5. Warsztaty Naukowe FoKA (Fotony-Kwanty-Atomy), Iława, 31.I.-2.II.2019, Jony w pułapkach w Krajowym Laboratorium FAMO w Toruniu
6. Kick-off meeting of COST action on "Trapped Ions: Progress in Classical and Quantum Applications", Granada, Hiszpania, 6-8.III.2019, **Ł. Kłosowski**, Electronic collisions involving ions in Paul trap

### 2.2.1 Pozostałe referaty

1. 28 czerwca 2010, Institute for Quantum Optics and Quantum Information, Innsbruck, Austria, Coincidence investigation of electron-atom collisions as an example of "perfect" scattering experiment
2. 13 listopada 2011, Aarhus University, Aarhus, Dania, Coincidence measurements of electron impact coherence parameters – the example of "perfect" electron scattering experiment
3. 7 marca 2013, Kolokwium Czwartkowe IF UMK, Badania jonów i ich małych zespołów w pułapkach kwadrupolowych
4. 28 listopada 2014, Politechnika Gdańska, Chłodzenie jonów molekularnych w pułapce Paula

5. 19 maja 2016, Uniwersytet Gdański, Jony molekularne w pułapce kwadrupolowej
6. 30 maja 2016, Uniwersytet Jagielloński, Kraków, Trapped molecular ions
7. 10 czerwca 2016, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, Jony molekularne w pułapce Paula
8. 27 października 2016, Uniwersytet Warszawski, Wytwarzanie i chłodzenie jonów molekularnych w pułapkach
9. 10 sierpnia 2017, Instytut Fizyki UMK, wykład dla uczestników letniego programu praktyk TAPS, Quantum information with trapped ions. Can we teleport an atom?
10. 7 czerwca 2018, Kolokwium Czwartkowe IF UMK, Zderzenia w kwadrupolowych pułapkach jonowych
11. 26 listopada 2018, Instytut Fizyki PAN, Warszawa, Zderzenia w eksperymentach wiązkowych i w pułapkach jonowych
12. 23 maja 2019, Uniwersytet Warszawski, Collisions in crossed beam and ion trap experiments
13. 26 września 2019, Palacky University Olomouc, Ołomuniec, Czechy, Collisions of electrons, atoms and trapped ions

Współautorstwo wykładów wygłoszonych przez współpracowników:

1. Ł. Kłosowski, M. Piwiński, S. Chwirot, 2006, „Study of inelastic electron-atom collisions”, University of Malaya, Kuala Lumpur, Malezja
2. M. Piwiński, Ł. Kłosowski, D. Dziczek, S. Chwirot, 2010, „Electron-photon coincidence experiments on zinc atoms”, 63rd Gaseous Electronics Conference (GEC) and 7th International Conference on Reactive Plasmas (ICRP), Paryż, Francja
3. M. Piwiński, Ł. Kłosowski, D. Dziczek, S. Chwirot, 2015, „Inelastic e-Cd and e-Zn collisions”, 18th International Symposium on Polarization and Correlation in Electronic and Atomic Collisions, San Sebastian, Hiszpania
4. M. Piwiński, Ł. Kłosowski, D. Dziczek, S. Chwirot, 2015, „Electron impact coherence parameters for e-Cd and e-Zn collisions”, VIIIth Workshop on Atomic and Molecular Physics, Jurata, Polska

### **2.3 Informacja o udziale w komitetach organizacyjnych i naukowych konferencji krajowych lub międzynarodowych, z podaniem pełnionej funkcji**

1. II Warsztaty Naukowe KL FAMO „Zimne Atomy”, 2006, Toruń, członek komitetu organizacyjnego

Ł.K

## **2.4 Informacja o uczestnictwie w pracach zespołów badawczych realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych lub zagranicznych, z podziałem na projekty zrealizowane i będące w toku realizacji, oraz z uwzględnieniem informacji o pełnionej funkcji w ramach prac zespołów.**

### **2.4.1 Zrealizowane**

1. Grant Promotorski „Koincydencyjne badania niesprężystych zderzeń elektron-atom helu w pełnym zakresie kątów rozpraszania z zastosowaniem metody lokalnego pola magnetycznego do zmiany toru ruchu elektronu”, finansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2007-2008, suma 89 600 PLN, wykonawca
2. Grant w ramach programu Iuventus Plus „Koincydencyjne badania niesprężystych zderzeń elektron-atom” finansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2010-2011, suma 100 000 PLN, kierownik
3. Grant w ramach programu „Krok w przyszłość – stypendia dla doktorantów”, suma 23 000 PLN
4. Grant Opus „Jony molekularne w pułapkach” finansowany przez Narodowe Centrum Nauki w latach 2015-2018, suma 638 600 PLN, kierownik
5. Grant wewnętrzny UMK „Koincydencyjne badania procesów zderzeń elektron – atom cynku”, 2010, wykonawca
6. Grant wewnętrzny UMK „Koincydencyjne badania niesprężystych zderzeń elektron – atom”, 2009, kierownik
7. Grant wewnętrzny UMK „Budowa układu diagnostyki wiązki elektronowej oraz optymalizacji źródła zlokalizowanego pola magnetycznego” 2008, wykonawca
8. Grant wewnętrzny UMK „Budowa wysokorozdzielczego układu do badania widm energii elektronów”, 2007, wykonawca

### **2.4.2 W trakcie realizacji**

1. NLPQT – Narodowe Laboratorium Fotoniki i Technologii Kwantowych, Program Operacyjny Inteligentny Rozwój 2014-2020, Priorytet IV: Zwiększenie Potencjału Naukowo-Badawczego, Działanie 4.2: Rozwój Nowoczesnej Infrastruktury Badawczej Sektora Nauki, POIR.04.02.00-00-B003/18, (całe konsorcjum 220 mln PLN, w tym 33 mln PLN część projektu realizowana przez UMK – jeden z partnerów), (2019-2023), wykonawca,
2. Członek zespołu priorytetowego „Quantum systems for fundamental research group” w programie Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika

## **2.5 Informacja o odbytych stażach w instytucjach naukowych lub artystycznych, w tym zagranicznych, z podaniem miejsca, terminu, czasu trwania stażu i jego charakteru.**

1. Uniwersytet w Innsbrucku oraz Institute for Quantum Optics and Quantum Information (IQOQI), Innsbruck, Austria: seria trzech wizyt IV-VI.2010 i I-II.2011, w sumie 4 miesiące,

*t.k.*

grupa prof. Rainera Blatta. Pobyty miały na celu szkolenie z zakresu technologii pułapek jonowych dla nowego członka zespołu kierowanego przez prof. Ewę Stachowską w Krajowym Laboratorium FAMO oraz testowanie elementów aparatury KL FAMO z zastosowaniem układów dostępnych w Innsbrucku.

2. Uniwersytet Aarhus w Danii: staż podoktorski w okresie X.2011-VIII.2012 w grupie prof. Michała Drewsena, finansowany ze środków programu WZROST UMK „Wzmocnienie potencjału dydaktycznego UMK w Toruniu w dziedzinach matematyczno-przyrodniczych”.

## 2.6 Informacja o recenzowanych pracach naukowych lub artystycznych, w szczególności publikowanych w czasopismach międzynarodowych.

1. International Journal of Mass Spectrometry, 2019, IF: 1,658 (jedna praca)
2. Sensors, 2019, IF: 3,031 (jedna praca)

## 2.7 Informacja o uczestnictwie w programach europejskich lub innych programach międzynarodowych.

1. European Cooperation in Science and Technology (eCOST): 2018-obecnie, reprezentujący Polskę członek komitetu zarządzającego akcji „COST Action CA17113, Trapped Ions: Progress in classical and quantum applications”, koordynator do spraw STSM (Short Term Scientific Missions) dla tej akcji.

## 3 INFORMACJE NAUKOMETRYCZNE

1. Sumaryczny impact factor:

- sumaryczny dla wszystkich publikacji: 86,663
- przed doktoratem: 11,089
- po doktoracie: 75,574
- w tym osiągnięcie: 48,558

2. Liczba cytowań: 211, w tym bez autocytowań 154 (Web of Science)

3. Indeks Hirsha: 9 (Web of Science)

4. Liczba punktów MNiSW:

- sumaryczny dla wszystkich publikacji: 2170 (zgodnie z listą z 2019 roku) lub 654 (zgodnie z rokiem publikacji)
- przed doktoratem: 550 (zgodnie z listą z 2019 roku) lub 85 (zgodnie z rokiem publikacji)
- po doktoracie: 1620 (zgodnie z listą z 2019 roku) lub 569 (zgodnie z rokiem publikacji)
- w tym osiągnięcie: 510 (zgodnie z listą z 2019 roku) lub 210 (zgodnie z rokiem publikacji)

*Łukasz Kłosowski*

(podpis wnioskodawcy)