

Dr Bogusław Pranszke
Instytut Fizyki Doświadczalnej
Uniwersytetu Gdańskiego
Wydział Matematyki, Fizyki i Informatyki
80-952 Gdańsk ul. Wita Stwosza 57
e-mail: fizbp@univ.gda.pl

Autoreferat

Lista wybranych publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe.....	3
Praca naukowa przed doktoratem.....	4
Praca naukowa po doktoracie	6
Opis aparatury wykorzystywanej do badań po doktoracie	6
Opis badań stanowiących osiągnięcie naukowe.....	10
Planowana tematyka badawcza	13

1. Imię i Nazwisko:

Bogusław Pranszke

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

- 1993 r. Uniwersytet Gdański, Wydział Matematyki, Fizyki i Chemii, stopień naukowy magistra fizyki
- 2000 r. Uniwersytet Gdański, Wydział Matematyki, Fizyki i Informatyki, stopień naukowy doktora nauk fizycznych w zakresie fizyki.
Tytuł rozprawy doktorskiej: „Badanie wydajności chemiluminescencji w zderzeniach wzbudzonej wiązki atomów wapnia z fluorowcoalkanami”.

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

- 1992 – 1993 Technik w Zakładzie Fizyki Atomowej Instytutu Fizyki Doświadczalnej UG (zatrudniony jako student V roku)
- 1993 – 2000 Asystent w Zakładzie Fizyki Atomowej Instytutu Fizyki Doświadczalnej UG,
- 2000 – 2011 Adiunkt w Zakładzie Fizyki Atomowej Instytutu Fizyki Doświadczalnej UG,
- 2011 – obecnie Starszy specjalista w Zakładzie Dydaktyki Fizyki Instytutu Fizyki Doświadczalnej UG.

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

Jako wskazane, w myśl powyższej ustawy, osiągnięcie naukowe wybrałem cykl 6 publikacji pod tytułem: „Badania reakcji luminescencji w fazie gazowej: przekazanie ładunku w zderzeniach wiązki jonów z molekułami”. Poniżej przedstawiam listę tych wybranych publikacji, omówienie ich celu naukowego oraz przedstawiam oświadczenia wszystkich współautorów, określające indywidualny wkład każdego z nich w ich wykonanie.

Lista wybranych publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe

H1. B. Pranszke.

Charge transfer excitation in $N^+ + CO_2$ collisions under beam conditions
Chemical Physics Letters, 484, (2009) 24-27.

H2. B. Pranszke.

Charge transfer excitation in $H_2^+ + CO_2$ collisions under beam conditions
Chemical Physics Letters, 499 (2010) 199-202.

H3. B. Pranszke, S. Werbowy and A. Ławicki.

Luminescence in collisions of slow H^+ , H_2^+ , and H_3^+ ions with O_2 molecule
Phys. Rev. A 83, (2011) 032707.

H4. B. Pranszke.

Charge-transfer excitation in collisions of slow H^+ and H_3^+ ions with CO_2 molecules under beam conditions
Chemical Physics Letters, 508 (2011) 197–201.

H5. S. Werbowy and B. Pranszke.

Laboratory spectroscopic studies of collisions between slow stellar wind components (H^+ , H_2^+ , H_3^+ ions) and molecular nitrogen
Astronomy & Astrophysics, 535 (2011) A51.

H6. B. Pranszke.

Charge transfer excitation in $He^+ + CO_2$ collisions under beam conditions
Chemical Physics Letters, 536 (2012) 26–29.

Praca naukowa przed doktoratem

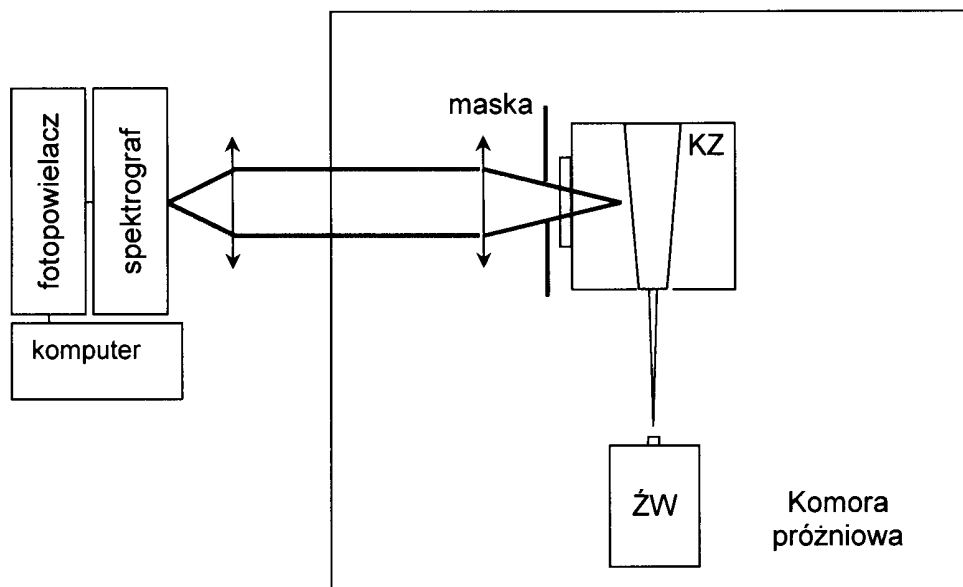
W czerwcu 1993 roku uzyskałem tytuł magistra fizyki na Uniwersytecie Gdańskim, pracę magisterską pod tytułem „Pomiar średniego czasu życia atomu strontu w stanie 3P_1 metodą czasu przelotu” napisałem pod kierunkiem prof. dr hab. Józefa Heldta. Po zatrudnieniu na stanowisku asystenta w Zakładzie Spektroskopii Atomowej Instytutu Fizyki Doświadczalnej UG znalazłem się pod opieką naukową prof. dr hab. Andrzeja Kowalskiego. Zajmowałem się badaniami chemiluminescencji w zderzeniach wzbudzonych wiązek różnych atomów z drobinami. W publikacji [1] zbadano, jaki procent zderzeń atomów wapnia z drobiną ICl prowadzi do powstania wzbudzonego elektronowo $CaCl^*$, a jaki do powstania CaI^* . W pracy [2] wyznaczono podobny współczynnik w zderzeniach Sr i $Sr^*(^3P, ^1D)$ z IBr oraz ICl, zaś w pracy [6] w zderzeniach $Mg^*(^3P)$ z chlorowcami homo- i heterojądrowymi. W czerwcu 2000 roku uzyskałem tytuł doktora nauk fizycznych po obronie pracy pt. „Badanie wydajności chemiluminescencji w zderzeniach wzbudzonej wiązki atomów wapnia z fluorowcoalkanami”. Promotorem mojej rozprawy doktorskiej był prof. dr hab. Andrzej Kowalski.

Układ doświadczalny wykorzystywany w ramach pracy doktorskiej został przeze mnie udoskonalony w oparciu o zestaw istniejący w naszym zakładzie. Schemat aparatury do badań chemiluminescencji przedstawiony jest na rysunku 1. Efuzyjna wiązka atomów ziem alkalicznych M wzbudzana była przez zderzenia z elektronami. Do komory zderzeniowej dolały atomy M w stanie podstawowym oraz w stanach metatrwałych M^* , głównie 3P_J oraz 1D_2 . Stosowany układ pomp próżniowych z wymrażaniem ciekłym azotem oraz niewielkie ciśnienie gazu tarczy (poniżej 2 Pa) pozwalały obserwować procesy chemiluminescencyjne w warunkach pojedynczego zderzenia. W wyniku zderzeń atomów M^* z chlorowcami RX powstawały wzbudzone rodniki MX^* , związki trudne do zaobserwowania przy wyższych ciśnieniach. Światło M^* i chemiluminescencja MX^* były zbierane przez układ detekcji, ich porównanie dostarczało absolutnych wartości przekrojów czynnych na zderzenia prowadzące do wzbudzenia produktów. W pracy doktorskiej przedstawiłem wyniki badań reakcji chemiluminescencji 38 wybranych związków chemicznych zawierających atom fluorowca (fluor, chlor, brom, jod) z atomami wapnia w stanach metatrwałych 3P_1 i 1D_2 . Uzyskane widma luminescencji pozwoliły na wyznaczenie całkowitych przekrojów czynnych na zderzenia oraz przekrojów czynnych na chemiluminescencję. Cechą charakterystyczną badanych układów były duże wartości przekrojów czynnych na zderzenia (rzędu 10^{-18} m^2). Materiał wykorzystany w rozprawie doktorskiej został opublikowany w pracach [3, 4, 5] oraz, po dodatkowych badaniach z wiązką atomów magnezu, w pracy [21]. W pracy [3] szukano odpowiedzi na pytanie, czy w zderzeniu z atomami wapnia i strontu drobiną o takim samym składzie che-

micznym, ale różniące się budową, dadzą te same wartości przekrojów czynnych. Wpływ efektu izotopowego na widma oraz przekroje czynne badano w pracy [4]. W publikacji [5] zaprezentowano wyniki otrzymane dla zderzeń atomów wapnia z freonami. Wpływ zastępowania atomów wodoru w metanie przez atomy fluoru, bromu i chloru był tematem pracy [21].

Badane przeze mnie w okresie przed doktoratem reakcje chemiluminescencyjne mają dość duże wydajności kwantowe i są dobrze opisywane przez tzw. model harpunowy zaproponowany przez Michaela Polanyi'ego w 1932 roku. W powyższych pracach wartości doświadczalne całkowitych przekrojów czynnych na zderzenia zostały porównane z wartościami przekrojów obliczonymi w oparciu o model harpunowy. We wszystkich przypadkach zgodność wyników doświadczalnych z teoretycznymi potwierdza harpunowy model reakcji.

Ważnym impulsem do prowadzenia tych badań, oprócz celów czysto poznawczych, było poszukiwanie potencjalnych układów mogących zostać wykorzystanych jako ośrodek czynny lasera chemicznego, gdzie inwersja obsadzeń uzyskiwana byłaby na drodze reakcji chemicznej. Celem naszych badań było znalezienie nowej reakcji o dużej wydajności, umożliwiającej akcję laserową w widzialnym obszarze widmowym lub w UV. Mimo znacznej uciążliwości związanej z koniecznością kilkudniowego utrzymywania wysokiej próżni oraz stabilnej wiązki atomowej i koniecznością wytrwania w wysokiej temperaturze panującej w laboratorium, są to eksperymenty pasjonujące, gdyż zazwyczaj prowadzi się je dla układów nigdy wcześniej nie badanych.



Rysunek 1. Schemat aparatury do pomiaru wydajności chemiluminescencji. KZ – komórka zderzeniowa, ŻW – źródło wiązki. Na czerwono zaznaczono wzbudzoną wiązkę atomową, kolorem żółtym – obszar zderzeń wiązki z tarczą gazową, niebieskim – światło chemiluminescencji.

Praca naukowa po doktoracie

W pierwszych latach po doktoracie kontynuowałem badania chemiluminescencji na aparaturze wykorzystującej wzbudzoną atomową wiązkę efuzyjną. Efekt steryczny usiłowałem obserwować w reakcji metali z różnymi związkami chemicznymi. Wynikiem tych doświadczeń była praca [20]. W publikacji [22] zostały zaprezentowane wyniki pomiarów całkowitych przekrojów czynnych oraz przekrojów czynnych na chemiluminescencję w zderzeniach atomów $Mg^*(^3P)$ i $Ca^*(^3P, ^1D)$ z wybranymi chlorowcowodorami. W pracy [14] zaprezentowano wyniki dla zderzeń atomów wapnia w stanach metatrwałych z chlorowcopochodnymi benzenu. Badania tych układów zostały przeprowadzone po raz pierwszy i mogą wnieść wkład do analizy szybkości transferu energii wewnątrz molekuł zaburzanych przez zderzenia reaktywne. Po doktoracie zainteresowany byłem zmianą pola badań, czemu sprzyjała sytuacja zewnętrzna wynikająca z pozyskania przez nas nowej aparatury. Zająłem się głównie badaniem luminescencji wynikającej z bombardowania tarczy gazowej wiązkami jonowymi o energii do 1000 eV. W ostatnich latach nastąpił gwałtowny rozwój badań fizycznych i chemicznych jonów swobodnych. Związane jest to m.in. z faktem, że wiele naturalnych zjawisk w koronie słonecznej, w przestrzeni kosmicznej i w górnych warstwach atmosfery ziemskiej ma u podstaw procesy z udziałem jonów. Dokładne zbadanie tych procesów w warunkach laboratoryjnych umożliwiają zwłaszcza techniki wiązkowe, ponieważ pozwalają one na ścisłą kontrolę energii zderzenia.

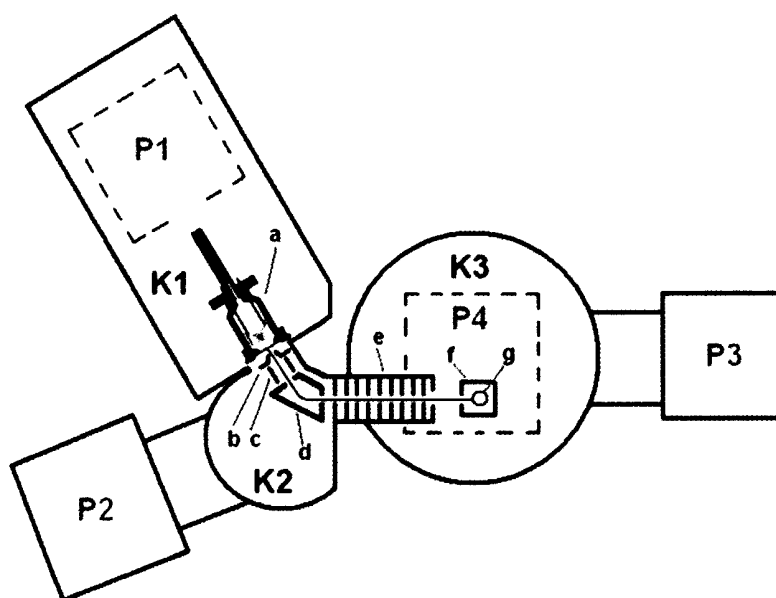
Opis aparatury wykorzystywanej do badań po doktoracie

Od roku 2001 korzystałem z aparatury przekazanej nam przez prof. Christopa Ottinera z Max-Planck-Institut für Strömungsforschung, Getynga (RFN), po jego przejściu na emeryturę. Zbudowany przez niego w roku 1985 unikatowy w skali światowej układ doświadczalny jest pokazany na rysunku 2. Trzy komory próżniowe, pompowane różnicowo, mieszczą źródło jonów, spektrometr mas do selekcji jonów i komórkę zderzeniową. W źródle jonów gaz jest doprowadzany w pobliże gorącej katody, gdzie w zderzeniach z elektronami jest jonizowany. Jony są wyciągane ze źródła i przyspieszane do energii 1000 eV, a następnie po przejściu spektrometru masowego, przed wejściem do komórki zderzeniowej, spowalniane do energii wymaganej w doświadczeniu. Istnieje możliwość neutralizacji jonów w dodatkowej komórce, ustawionej przed komórką zderzeniową i wypełnionej gazem o energii jonizacji dopasowanej do poziomów energetycznych jonów. W ten sposób otrzymuje się „atomy gorące”, których energia kinetyczna może odpowiadać (w warunkach równowagi termodynamicznej) temperaturze do 11 milionów K. Światło powstające w wyniku zderzeń wiązki

jonów z tarczą gazową jest zbierane przez układ detekcji składający się z kombinacji zwierciadeł aluminiowych, monochromatora siatkowego McPherson model 218 (próżnioszczelny, z możliwością pracy w VUV) oraz detektora wielokanałowego. W oryginalnej aparaturze dokonaliśmy w Gdańsku kilku modyfikacji, m. in. dodano zestaw nowych pomp próżniowych (rotacyjnych i turbomolekularnych) oraz nowy system zbierania danych i kontroli prądu jonowego. Typowy prąd jonów (mierzony na płytce umieszczonej za komorą zderzeń) wynosi około 100 nA dla energii 1000 eV; wraz ze zmniejszeniem energii wiązki, prąd jonów spada poniżej 1 nanoampera dla 10 eV. Zastosowany układ detekcji pozwala na zarejestrowanie w 1024 kanałach widma o rozpiętości spektrum od 200 nm do 600 nm (z rozdzielczością zależną od użytej siatki dyfrakcyjnej), przy prądzie ciemnym około 2 zliczeń na sekundę, przy typowym sygnale rzędu kilkudziesięciu zliczeń na sekundę. Typowe ciśnienie gazu w komórce zderzeniowej wynosiło 2 Pa i było kontrolowane za pomocą manometru pojemnościowego.

Stosowane przez mnie energie wiązki jonów są w zakresie 1 eV ÷ 1000 eV. Przy energiach zderzenia znacznie przewyższających typowe wartości siły wiązań chemicznych (> 10 eV), reakcje wymiany atomów są bardzo rzadkie i w większości przypadków zachodzi dysocjacja produktów zderzenia, której często towarzyszy luminescencja tych produktów.

Podkreślić należy, że prowadzone badania wychodzą poza popularny schemat badań



Rysunek 2. Przekrój poziomy przez część aparatury z zaznaczoną na czerwono drogą pokonywaną przez wiązkę jonów: komora źródła jonów (K1), źródło jonów (a), ekstraktor (b), komora spektrometru masowego (K2), układ soczewek elektrostatycznych (c), sektor magnetyczny w kształcie trapezu (d), komora zderzeniowa (K3), linia spowalniająca (e), komórka zderzeniowa (f) wypełniona badanym gazem (g). P1, P2 – pompy dyfuzyjne, P3, P4 – pompy turbomolekularne.

reakcji jonowych z wykorzystaniem spektroskopii masowej, a tym samym stanowią one ważne uzupełnienie istniejącego stanu wiedzy. Z posiadanych przeze mnie informacji wynika, że żaden inny ośrodek w Polsce nie zajmuje się spektroskopowymi badaniami luminescencji pochodzącej z hipertermicznych zderzeń w układzie wiązka jonów – gaz.

W wyniku badań wykonanych z użyciem opisanego powyżej układu eksperymentalnego opublikowano prace dotyczące zderzeń jonów oraz atomów tlenu i azotu z molekułami wodoru i metanu [7,8, 9].

W pracy [7] badano zderzenia hipertermicznych atomów azotu w stanach 2D , 4S oraz jonów azotu w stanie 3P z cząsteczką metanu. Zarejestrowano widma chemiluminescencji cząsteczek $CH(A^2\Delta, B^2\Sigma^-)$ oraz $NH(A^3\Pi)$. Dla badanych reakcji wyznaczono funkcje wzbudzenia czyli zależność przekroju czynnego na wzbudzenie elektronowe produktu od energii zderzenia. Bardzo rzadkie zjawisko chemiluminescencji obserwowanej przy energii zderzenia nawet 200 eV w układzie środka masy następuje w wyniku tzw. bilardowego zderzenia atomów o podobnych masach (C i N), zgodnie z modelem Libby'ego .

W pracy [8] zostały opublikowane wyniki badań dla zderzeń gorących atomów azotu z drobiną H_2 . Zaobserwowano reakcję chemiluminescencyjną $N(^2D) + H_2 \rightarrow NH(A^3\Pi) + H$. Syntetyczne widma otrzymane w procesie symulacji komputerowych pozwoliły na głębszą interpretację wyników doświadczalnych. W szczególności określono dystrybucję wydzielonej w reakcji energii pomiędzy wzbudzenie elektronowe, oscylacyjne i rotacyjne otrzymanego produktu $NH(A^3\Pi)$.

Praca [9] obejmuje wyniki badań reakcji atomów i jonów tlenu z drobinami H_2 oraz CH_4 . W doświadczeniu produkcja jonów O^+ wymagała zastosowania niezwykle niskiej wartości napięcia wyładowania w źródle (34 V, wobec typowej wartości 100 V), aby uniknąć powstania jonów tlenu w stanach metatrwałych. Tak niska wartość napięcia wyładowania znacznie zmniejszyła wartość prądu jonów w wiązce (poniżej 1 nA przy 1000 eV). Przy neutralizacji O^+ użyto metanu. Zarejestrowano widma chemiluminescencji produktów reakcji, rodników $OH^+(A-X)$, $OH(A-X)$, $CH(B-X)$ oraz wyznaczono dla badanych reakcji funkcje wzbudzenia.

Oddzielną grupę stanowią badania zderzeń jonów H^+ , H_2^+ , H_3^+ z powierzchnią metalu [10, 11]. W obu wypadkach zarejestrowano sygnał luminescencji odpowiadający serii Balmera dla wodoru, przy czym skoncentrowano się na linii H_β . Wyznaczono funkcje wzbudzenia i stwierdzono doświadczalnie po raz pierwszy, że dla badanego zakresu energii zderzenia obowiązuje tzw. „model niezależnych atomów” w drobinach H_2^+ i H_3^+ . Zgodnie z tym modelem występowanie wiązania molekularnego w H_2^+ i H_3^+ nie wpływa na natężenie światła H_β .

Wyniki tych badań mogą mieć praktyczne zastosowanie w spektroskopowej diagnostyce plazmy w warstwie przyściennej komór, w których zachodzi synteza wodoru (w tokamakach, na przykład w Cadarache, we Francji, gdzie powstaje prototyp elektrowni tego rodzaju).

Efektom prac rozpoczętych w latach 2005-2006 były publikacje dotyczące zderzeń jonów H^+ , H_2^+ , H_3^+ z drobiną O_2 [15] oraz N^+ z O_2 [16]. Badałem też zderzenia jonów H^+ , H_2^+ , H_3^+ z drobiną N_2 [18]. Wyniki eksperymentalne dla zderzeń jonów N^+ z cząsteczkowym tlenem pozwalają modelować reakcje chemiczne zachodzące w atmosferze, jak również monitorować skład samej atmosfery. W publikacji [16] zaprezentowano wyniki laboratoryjnych badań zderzeń prowadzących do powstania jonu cząsteczki tlenu w stanach $O_2^+(A^2\Pi_u)$ oraz $O_2^+(b^4\Sigma_g)$. Na zarejestrowanych widmach daje się zauważyć również szereg linii atomowych neutralnego i jednokrotnie zjonizowanego tlenu. Dla reakcji tej wyznaczono funkcje wzbudzenia w zakresie energii od 20 do 1000 eV.

Publikacje [15, 18] zostały przeze mnie włączone do „Listy wybranych publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe” i zostaną omówione oddzielnie.

W roku 2007 rozpocząłem doświadczenia, kontynuowane do chwili obecnej, w których dwutlenek węgla zderzany jest z wybranymi jonami. Prac doświadczalnych na ten temat jest w literaturze bardzo mało, co pozwoliło mi opublikować cztery prace przedstawiające oryginalne wyniki reakcji z przekazaniem ładunku w układzie jon – CO_2 [12,13,17,19]. Publikacje te zostały również włączone do „Listy wybranych publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe” i zostaną omówione w odrębnym rozdziale „Opis badań stanowiących osiągnięcie naukowe”.

W tym miejscu chciałbym się odnieść do faktu, że na dzień dzisiejszy liczba cytowań moich publikacji jest relatywnie niska. Wpływ na to ma niewielka liczba laboratoriów zajmujących się podobną problematyką badawczą (jak dotąd, według mojej wiedzy, żadne w Polsce). Niemniej jednak wierzę, że badania te są ważne i mają szansę stać się bardziej popularne w przyszłości.

Opis badań stanowiących osiągnięcie naukowe

W zderzeniach w układzie jon + CO₂ obserwuje się reakcje wymiany ładunku (ang. CTR – charge transfer reaction lub CTE – charge transfer excitation). W wyniku reakcji powstaje jon CO₂⁺ zarówno w stanie podstawowym $\tilde{X}^2\Pi_g$, jak i w stanach wzbudzonych $\tilde{A}^2\Pi_u$ oraz $\tilde{B}^2\Pi_g^+$. Wyższych stanów wzbudzonych drobiny CO₂⁺ nie obserwuje się ze względu na predysocjację. Jon CO₂⁺ jest drobiną liniową, zarówno w stanie podstawowym, jak i w obu stanach wzbudzonych. Dodatkowo luminescencja obserwowana w reakcji prowadzącej do stanów wzbudzonych CO₂⁺ (A i B) może być stosunkowo łatwo rejestrowana w obszarze widzialnym i bliskim nadfiolecie. Okoliczności te oraz powszechność występowania CO₂ czyni ten gaz bardzo interesującym obiektem badań doświadczalnych i teoretycznych.

Prace dotyczące CO₂ oraz CO₂⁺ dobrze wpisują się w obserwowany ostatnimi laty rozwój badań nad przyczynami zmian klimatycznych i ewentualnego związku tych zmian z zawartością dwutlenku węgla w atmosferze ziemskiej. Ponadto również w atmosferach innych planet (Mars, Wenus), w kometach oraz w mgławicach zaobserwowano występowanie drobiny CO₂.

Reakcje te są dodatkowo interesujące ze względu na istniejące niejasności w zakresie stosowalności konkretnego modelu reakcji. Historycznie rzecz ujmując, jako pierwszy stosowany był model Francka-Condon. W modelu tym przejście elektronu pomiędzy składnikami zderzenia następuje tak szybko, że ciężkie jądra nie zdążą się w tym czasie przemieścić. Odpowiadałoby to sytuacji, w której współczynniki Francka-Condon w procesie zderzeniowym są takie same jak we wzbudzeniu optycznym. Zaobserwowano jednak, że w wielu reakcjach, także w reakcjach związanych z wymianą ładunku, obserwowane rozkłady obsadzeń poziomów oscylacyjnych CO₂⁺ są odmienne od tych obserwowanych przy wzbudzeniu optycznym. Wyniki doświadczalne wskazywały, że obserwowany rozkład natężeń przejść oscylacyjnych w dużym stopniu zależy od prędkości zderzenia, natomiast w niewielkim stopniu uzależniony jest od rodzaju zderzanych ciał. Zauważono, że przy prędkościach zderzenia poniżej 10⁶ m/s obserwowany rozkład obsadzeń poziomów CO₂⁺ nie może już być opisywany przez model Francka-Condon. Początkowo było to wyjaśniane jako wpływ pola elektrycznego nadlatującego jonu-pocisku na chmurę elektronową cząsteczki-tarczy. Kolejne eksperymenty pokazały jednak, że wpływ pola elektrycznego jonu nie wyjaśnia w pełni obserwowanych widm. W szczególności nie wyjaśnia on zderzeń w układzie „neutralny pocisk – jonowa tarcza”, w których wzbudzenie produktu jest indukowane zderzeniem. Doprowadziło to do powstania modelu „przecinających się poziomów”. Oparty jest on na założeniu, że

obserwowany rozkład obsadzeń stanów oscylacyjnych drobiny wynika z krótkozasięgowego, odpychającego oddziaływania pomiędzy składnikami zderzenia. Oddziaływanie to jest krótkozasięgowe, zatem przekroje czynne są nieduże. Aktualne badania, także te wykonywane w innych laboratoriach, często związane są z testowaniem stosowalności wyżej opisanych modeli.

Publikacje H1, H2, H4, H6 z „Listy wybranych publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe”

Kilka lat temu odkryłem, że brak jest w literaturze publikacji dotyczących laboratoryjnych badań oddziaływania wiatru słonecznego z dwutlenkiem węgla zawartym w górnych warstwach atmosfery ziemskiej. Stało się to impulsem do badania zderzeń jonów azotu N^+ , a następnie zderzeń jonów wodoru H^+ , H_2^+ , H_3^+ i He^+ z CO_2 . Inne badania dotyczyły zderzeń wiatru słonecznego z podstawowymi składnikami atmosfery Ziemi, to znaczy z N_2 i O_2 . Głównym składnikiem wiatru słonecznego są elektrony i protony, ponadto w mniejszych ilościach obserwuje się jony He^+ oraz H_2^+ i H_3^+ . Okazuje się że prędkości wiatru słonecznego dają się odtworzyć w naszym laboratorium, a w przypadku innych gwiazd obserwowane prędkości jonów wchodzących w skład wiatru gwiazdowego bywają jeszcze mniejsze niż dla Słońca.

Zaplanowałem, że wszystkie publikacje wchodzące w skład mojej przyszłej rozprawy habilitacyjnej zostaną wykonane w Gdańsku i że wykonam je w pełni samodzielnie, albo też z pomocą młodszych kolegów, którzy w przeszłości byli pod moją opieką naukową jako magistranci (chodzi tu o A. Ławickiego i S. Werbowego, którzy w chwili obecnej są doktorami).

W wyniku przeprowadzonych pomiarów udało mi się dla badanych systemów zarejestrować światło pochodzące z przejść $\tilde{A}^2\Pi_u - \tilde{X}^2\Pi_g$ i $\tilde{B}^2\Pi_2^+ - \tilde{X}^2\Pi_g$ drobiny CO_2^+ . We wszystkich przypadkach zaobserwowano jedynie reakcje przekazania ładunku, natomiast nie znaleziono dowodu na dysocjacje CO_2 (CID – ang. collision induced dissociation). Z danych literaturowych wynika, że dysocjacja CO_2 następuje dla większych energii zderzenia, rzędu kilku keV.

Zarejestrowane widma wskazują na przebieg reakcji dobrze opisany modelem przecinających się poziomów. Kształt widm, ze szczególnym uwzględnieniem względnych natężeń przejść oscylacyjnych, potwierdza ten wniosek. W oparciu o zebrane widma wyznaczyłem funkcje wzbudzenia dla poszczególnych kanałów reakcji oraz dodatkowo wykreśliłem zależność stosunku przekroju czynnego na powstanie drobiny CO_2^+ w stanie A do przekroju czynnego na powstanie drobiny CO_2^+ w stanie B, czyli $\sigma(A)/\sigma(B)$. Otrzymane funkcje wzbudzenia wykazują skok przy energiach zderzenia rzędu 100 eV, najprawdopodobniej w wyniku po-

wstawania długożyciowego kompleksu zderzeniowego. W reakcjach jon – drobina taki kompleks może powstać, gdy oddziaływanie przyciągające pomiędzy jonem i drobiną jest duże, a względna prędkość zderzenia jest niewielka. W zderzeniach tego rodzaju jedynie mała część energii zamieniana jest na energię wewnętrzną powstałego kompleksu. W momencie, gdy omawiany długożyciowy kompleks dysocjuje na jon i drobinę, część energii wewnętrznej jest z powrotem przekazywana jako energia kinetyczna produktów zderzenia. Proponowany mechanizm tłumaczyłby niewielkie wzbudzenie oscylacyjne i rotacyjne zarejestrowanych widm dla energii poniżej 100 eV.

Publikacje H3, H5 z „Listy wybranych publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe”

W obu pracach przedmiotem badań było oddziaływanie jonów wchodzących w skład wiatru słonecznego (H^+ , H_2^+ , H_3^+) z głównymi składnikami atmosfery ziemskiej, tzn. tlenem i azotem. Analizę powstałego promieniowania rozszerzono na interakcje pomiędzy wiatrem gwiazdowym a materią w postaci gęstych obłoków gazowych w przestrzeni kosmicznej. Obecność takich zderzeń została wielokrotnie stwierdzona w atmosferze ziemskiej, chociażby w postaci zorzy polarnej, również obserwowanej na innych planetach Układu Słonecznego (Jowisz, Saturn, Uran, Neptun). Dla $H_n^+ + O_2$, N_2 zarejestrowano widma luminescencji w zakresie energii zderzenia $5 \div 1000$ eV w układzie laboratoryjnym.

W przypadku pracy [H3] zarejestrowano reakcje wymiany ładunku prowadzące do powstania jonu drobiny tlenu w stanach $O_2^+(A \ ^2\Pi_u)$ oraz $O_2^+(b \ ^4\Sigma_g)$ oraz produkt reakcji wzbudzenia indukowanego zderzeniem – $O_2(A \ ^3\Sigma_u)$. Ponadto zaobserwowano linie wodoru z serii Balmera. Dominujący wkład do zarejestrowanych widm dla wszystkich trzech systemów pochodził z reakcji wymiany ładunku. W oparciu o symulacje komputerowe przeprowadzono analizę widm, określając procentowe wkłady poszczególnych produktów obserwowanych reakcji oraz określono wartości temperatury oscylacyjnej i rotacyjnej analizowanych przejść.

Oddziaływanie wiatru gwiazdowego z cząsteczką N_2 jest tematem publikacji [H6]. Zarejestrowane widma pozwoliły wyznaczyć bezwzględne przekroje czynne dla badanych układów. Z kolei syntetyczne widma umożliwiły określenie temperatur rotacyjnych i oscylacyjnych produktów reakcji. Szczególnie dla układów $H_2^+ + N_2$ oraz $H_3^+ + N_2$ da się zauważyć wyraźną zmianę temperatury oscylacyjnej w funkcji energii zderzenia. Zaobserwowana zmiana temperatur oscylacyjnych wskazuje na zmianę odległości pomiędzy jądrami cząsteczki N_2 spowodowaną nadlatującym jonem wodoru, przez co nie można w tym przypadku stosować modelu Francka – Condon.

Planowana tematyka badawcza

W chwili obecnej kontynuuję badania związane z oddziaływaniem wiatru gwiazdowego (jony H^+ , H_2^+ , H_3^+) z drobiną CO. W najbliższej przyszłości będę badał zderzenia jonów CO^+ z drobinami H_2 . W dalszej kolejności przygotowuję eksperyment polegający na zderzaniu jonów wodorowych z mieszaniną gazów $O_2 - N_2$. W ten sposób zamierzam symulować warunki w rzeczywistych obłokach materii międzygwiazdowej (ang. ISM - interstellar medium).

Istotnym punktem planowanych eksperymentów jest badanie oddziaływań pomiędzy jonami emitowanymi przez gwiazdy ze składnikami materii międzygwiazdowej, komet oraz gazami atmosferycznymi. We współpracy prowadzone będą obserwacje z wykorzystaniem danych zebranych przez teleskopy HST, FUSE, UVES, w których określone zostaną gęstości kolumnowe cząsteczek znajdujących się w materii międzygwiazdowej oraz obsadzenia rotacyjne H_2 i ich związek z obecnością innych drobin. Zamierzamy wykonać badania zderzeń różnych jonów (H^+ , H_2^+ , H_3^+ , D^+ , D_2^+ , D_3^+ , He^+ , He_2^+ , He^{2+} , C^+ , N^+ , O^+ , F^+ , Ar^+ , Cl^+ , Al^+ , CH^+ , CH_2^+ , CH_3^+ , CH_4^+ , CO^+ , CO^{2+}) z gazami obserwowanymi w materii międzygwiazdowej, kometach czy atmosferze. Uzyskane dane doświadczalne mogą być cenne dla teoretycznego opisu ewolucji ISM. Bardzo często z powodu braku dokładnych danych tych wielkości (przekrojów czynnych czy odpowiadających im stałych szybkości reakcji), trudno jest wyjaśnić obserwowane w przestrzeni międzygwiazdowej gęstości kolumnowe, skład chemiczny lub rozkłady wzbudzeń rotacyjnych czy oscylacyjnych. Wyniki pomiarów przekrojów czynnych, jakie zamierzamy wykonać w naszym laboratorium, mogą przyczynić się do lepszego rozumienia i opisu formowania się i ewolucji materii międzygwiazdowej, a tym samym tworzenia się protogwiazd.

Kolejnym tematem jest kontynuowanie badań z tarczą CO_2 . Planuję zderzać CO_2 z wiązkami jonów o większej masie (O^+ , O_2^+ , He_2^+ , He^{2+} oraz z cięższymi jonami gazów szlachetnych). Mam nadzieję, że pełniejsze badania pozwolą zauważyć korelację pomiędzy prędkością jonu, jego rodzajem i obserwowanym przebiegiem funkcji wzbudzenia. Z racji podobnych do dwutlenku węgla właściwości fizyko-chemicznych, możliwe jest również zastosowanie drobin N_2O jako tarczy. Drobiną tą również posiada symetrię liniową, cechę interesującą z punktu widzenia fizyki teoretycznej. Dodatkowo, głównym produktem zderzenia lekkich jonów z N_2O jest jon $N_2O^+(\tilde{A})$, w kilku przypadkach obserwowano również powstanie jonu $N_2^+(B)$.

Planuję zastosowanie wiązki jonów do badań z wykorzystaniem próbek ważnych z punktu widzenia biologii lub medycyny. Aparatura ta pozwala na przebadanie zderzeń lek-

kich jonów ze wszystkimi tarczami (gazowymi, ciekłymi czy też stałymi) w zakresie niskich energii.

Strumienie ciężkich cząstek mogą być używane w terapii nowotworowej. Wykorzystywany jest tu ich dobrze zdefiniowany zasięg oraz fakt, że cząstki te tracą większą część swojej energii w obszarze znajdującym się na końcu zasięgu (tzw. pik Bragga). Ta własność jonów umożliwia terapię nowotworową. Zdrowe tkanki leżące pomiędzy powierzchnią ciała pacjenta, a zmianą nowotworową otrzymują wówczas możliwie niską dawkę, przy jednoczesnym naświetleniu wysoką dawką miejsca zmian chorobowych. Istotnym jest więc, by badać procesy rozpadu materiału biologicznego w wyniku padającego promieniowania jonizującego. W przypadku badań doświadczalnych, na poziomie molekularnym, oznacza to badanie procesów fragmentacji i dysocjacji części składowych DNA i RNA. Dlatego chcielibyśmy analizować procesy zderzeniowe jonów H^+ (być może C^+ oraz O^+) głównie z molekułami furanu, tetrahydrofuranu, isoksazolu (molekuły te tworzą pierścienie, które są składnikami DNA).

Z Promysłu