

dr hab. Kamil Fedus, prof. UMK
Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej,
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu,
ul. Grudziądzka 5,
87-100 Toruń

Toruń, dn. 29.01.2022

OCENA

osiągnięcia naukowego dra Marka Pietrowa

„Badanie wpływu oddziaływania pary $e^+ - e^-$ z materią w okolicy wolnych objętości w ośrodku skondensowanym na tworzenie pozytu”
przedstawionego w ramach postępowania o nadanie stopnia doktora habilitowanego.

Dr Marek Pietrow w ramach procedury habilitacyjnej przedstawił osiągnięcie naukowe w postaci cyklu publikacji powiązanych tematycznie, co jest jedną z form dopuszczonych przez ustawę *Prawo o szkolnictwie i nauce* z dnia 20 lipca 2018 z późniejszymi zmianami.

OCENA OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO

Zaprezentowane osiągnięcie obejmuje 9 prac opublikowanych w latach 2010 – 2021, które dotyczą badania procesów formowania się atomu pozytu Ps (związanej pary elektron e^- – pozyton e^+) w środowisku materii skondensowanej. Badany temat jest bardzo interesujący, ale zarazem bardzo trudny, ponieważ dotyczy dynamicznych procesów wielociałowych występujących w oddziaływaniu cząstki antymaterii z gęstym ośrodkiem materialnym. Habilitant podejmuje tematykę zarówno od strony teoretycznej oraz eksperymentalnej. We wszystkich wskazanych pracach A1 – A9 (numeracja publikacji przyjęta z autoreferatu habilitanta) dr M. Pietrow odgrywa wiodącą rolę badawczą i jest ich pierwszym autorem.

W części teoretycznej dr M. Pietrow skupia się na rozwijaniu modeli numerycznych umożliwiających zrozumienie ewolucji stanu pary $e^+ - e^-$ w trakcie tworzenia atomu Ps w ośrodkach skondensowanych i wpływu warunków otoczenia na charakterystyki anihilacji Ps. Fotony anihilacji mierzone są metodami spektroskopii pozytonowej, w szczególności metodą czasów życia pozytonów (z ang. PALS – *Positron Annihilation Lifetime Spectroscopy*). W pracy A7 autor podejmuje problem dekoherencji kwantowej stanu spinowego atomu Ps. Habilitant wykazał przy pomocy opracowanego modelu teoretycznego, że oddziaływanie atomu Ps z elektronami ośrodka materialnego może prowadzić do dekoherencji stanu Ps będącego pierwotnie, z założenia, w superpozycji dwóch stanów spinowych: *para* i *orto*. Ponieważ spin atomu ma przełożenie na liczbę emitowanych fotonów w procesie anihilacji, a wyznaczony czas dekoherencji okazał się krótszy niż czasy życia atomu Ps, w konsekwencji zjawisko to może w znacznym stopniu zaburzać statystykę liczby fotonów anihilacyjnych. To z kolei może mieć duże znaczenie dla interpretacji wyników eksperymentalnych, gdzie zwykle zakłada się, że anihilacja Ps zachodzi z jednego z dwóch ściśle określonych stanów spinowych (*para* lub *orto*), w których atom został pierwotnie uformowany. Co istotne, w omawianej pracy podano równania uwzględniające efekt dekoherencji, z których można wyprowadzić formuły

na parametry mierzone techniką PALS. Pomiar efektu dekoherencji znajduje się obecnie poza możliwościami technicznymi współczesnych technik eksperymentalnych, co podkreśla sam habilitant. Niemniej jednak, jeżeli jego występowanie zostanie potwierdzone, wymusi to nową interpretację wyników eksperymentalnych mierzonych metodami spektroskopii pozytonowej, zwłaszcza w metodzie PALS.

W pracy A4 dr M. Pietrow podejmuje problematykę energii swobodnych elektronów i pozytonów w pobliżu wolnych objętości w środowisku alkanów (C_nH_{2n+2}). Ośrodek skondensowany symulowany jest za pomocą klasycznej metody CDM (*Coupled Dipole Method*), która umożliwia obliczenie energii potencjalnej cząstek oddziaływujących z ośrodkiem. Autor wykazuje, że zastosowany model dobrze opisuje, z energetycznego punktu widzenia, pułapkowanie swobodnych elektronów przez ośrodek (w zgodzie z danymi eksperymentalnymi). Przy czym pułapki elektronowe mogą być tworzone dynamicznie, a nie jak się zwykle zakłada, istnieją tylko w miejscach ściśle określonych przez strukturę ośrodka. Ponadto habilitant bada bilans energetyczny w (ekranowanym przez ośrodek) oddziaływaniu kwazi-swobodnej pary $e^+ - e^-$ w funkcji odległości obydwu cząstek względem wolnej objętości. Z obliczeń wynika, że niezależnie od początkowego położenia pary $e^+ - e^-$, energia oddziaływania w ośrodku jest niemal o 3 eV większa niż energia pary w wolnej objętości, gdzie cząstki wiążą się w atom Ps. Oznacza to, że całkiem spora ilość energii musi zostać lokalnie zdeponowana w ośrodku w postaci fononów lub alternatywnie wyemitowana w postaci fotonów. Należy podkreślić, że zaproponowany model jest jednym z nielicznych, które pozwalają szacować energię stermalizowanej pary $e^+ - e^-$ w ośrodku materialnym.

W pracy A3 habilitant dowodzi, że para $e^+ - e^-$ w wolnej objętości może być opisana w ramach takiego samego formalizmu jak kwantowy model ekscytynu w kropce kwantowej. Autor bada teoretycznie zależność energii wiązania pary cząstek od wielkości wolnej objętości oraz stałej dielektrycznej ośrodka. Obliczenia wykazały, że atom Ps w wolnej objętości może być utożsamiany z atomem Ps w próżni tylko dla wolnych objętości o relatywnie dużym promieniu oraz w ośrodkach o niewielkiej stałej dielektrycznej. W pozostałych przypadkach energia wiązania pary cząstek w wolnej objętości jest znacznie mniejsza niż 6.8 eV (tj. energia wiązania Ps w próżni). Ponadto w ramach zastosowanego formalizmu habilitant wykazał, że mechanizm oddziaływania pary $e^+ - e^-$ z fononami ośrodka w czasie przejścia do wolnej objętości jest mało efektywny i istnieje spore prawdopodobieństwo promienistej deekscytacji.

Praca A2 jest próbą eksperymentalnej weryfikacji wyników teoretycznych przedstawionych w artykułach A3 i A4, wg. których formowaniu atomu Ps w wolnej objętości towarzyszy emisja światła. W tym celu habilitant opracował koncepcję pomiarów, przeprowadził eksperyment oraz zinterpretował wyniki. W celu realizacji pomiarów nawiązał współpracę z MePS ELBE w Helmholtz Zentrum Dresden-Rossendorf w Niemczech, w celu wykorzystania niskoenergetycznej impulsowej wiązki pozytonów. Użycie takiej wiązki jest niezbędne do minimalizacji wielu innych konkurencyjnych efektów towarzyszących iniekcji pozytonów do ośrodka skondensowanego, które mogą prowadzić do promienistej deekscytacji. Uzyskane wyniki nie potwierdzają w pełni istnienia zjawiska, niemniej jednak nie wykluczają go, a nawet wskazują na możliwość jego występowania. Należy podkreślić, że jest to pierwsza eksperymentalna próba pomiaru widma elektromagnetycznego emitowanego w procesie formowania Ps, a uzyskane rezultaty pokazują znaczny potencjał do kontynuacji pracy w celu optymalizacji eksperymentu.

Pozostałe prace wchodzące w skład wskazanego cyklu (A1, A5, A6, A8, A9) dotyczą systematycznych badań eksperymentalnych właściwości pułapek elektronowych w alkanach oraz ich wpływu na formowanie się atomu Ps w tych ośrodkach. Oddziaływanie pozytonów z alkanami jest interesującym zagadnieniem badawczym, ponieważ obserwuje się silną zależność charakterystyk anihilacji od wieku materiału, warunków oświetlenia, temperatury oraz parzystości łańcucha węglowego. Uważa się, że odpowiedzialne za to są elektrony spulapkowane w wolnych objętościach, które mogą wiązać się z pozytonem. Habilitant oprócz wspomnianej metody PALS, która stanowiła główne narzędzie badawcze, wykorzystywał również inne techniki eksperymentalne (UV-Vis, ESR, FTIR, pomiary foto-akustyczne) w celu charakteryzacji badanego zjawiska. Przeprowadzono bardzo szczegółowe badania czasów życia Ps oraz natężenia sygnału jego anihilacji dla różnych alkanów w różnych warunkach eksperymentalnych. Zbadano również wpływ domieszek innych alkanów (o różnej parzystości) na wyniki uzyskane metodą PALS. Habilitant projektował eksperymenty oraz interpretował uzyskane wyniki w oparciu o własne hipotezy formułowane na bazie solidnej wiedzy z zakresu fizyki ciała stałego. Rezultaty opisane w pracach (A1, A5, A6, A8, A9) dostarczają znaczącego materiału eksperymentalnego z obszaru oddziaływania pozytonów z materią.

Podsumowując, w prowadzonych badaniach dr M. Pietrow skupiał się na rozwijaniu modeli i wykonywaniu obliczeń w ramach tych modeli, oraz brał również udział w badaniach eksperymentalnych co sprawia, że jest badaczem zdolnym do krytycznego interpretowania zarówno teorii jak i doświadczenia. Moim zdaniem, wyniki prac opisane w przedstawionym cyklu publikacji wnoszą istotny wkład w nasze rozumienie zjawiska formowania się pozytu w materii skondensowanej.

OCENA AKTYWNOŚCI NAUKOWEJ

Dorobek naukowy dra M. Pietrowa obejmuje w sumie 9 recenzowanych artykułów naukowych opublikowanych przed doktoratem i 17 recenzowanych prac po doktoracie. Prace te, oprócz tematyki ściśle związanej z głównym nurtem jego zainteresowań naukowych (tj. oddziaływaniem pozytu z materią) dotyczą również innych zagadnień, w tym dynamiki układów kwantowych, agrofizyki oraz biofizyki. Część prac została uzyskana we współpracy z innymi instytucjami naukowymi w tym: MEPS w Helmholtz Zentrum Dresden-Rossendorf w Niemczech (dr A. Wagner), Zakład Akustyki i Fizyki Jądrowej Uniwersytetu Gdańskiego, Katedra Biofizyki oraz Centralne Laboratorium Badawcze Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. Ponadto dr M. Pietrow przez okres trzech lat był pracownikiem Instytutu Agrofizyki PAN w Lublinie, który zaowocował dwiema publikacjami naukowymi. Habilitant współpracował również z dr hab. E. B. Jartych z Politechniki Lubleskiej w przygotowaniu tomu konferencyjnego podsumowującego dwie konferencje krajowe współorganizowane przez jego macierzystą uczelnię: (A) *the 9th All-Polish Seminar on Mössbauer Spectroscopy OSSM'2012*, oraz (B) *the 40th Polish Seminar on Positron Annihilation PSPA'2012*, 10-14.06.2012, Lublin-Kazimierz Dolny, Poland.

Habilitant wygłosił 3 plenarne referaty zaproszone na seminariach i konferencjach międzynarodowych i 1 referat zaproszony na konferencji krajowej. Ponadto wygłosił regularne referaty na 6-ciu innych konferencjach, w tym 1-ej międzynarodowej. W sumie uczestniczył

11 konferencjach międzynarodowych oraz 13 konferencjach krajowych. Był współorganizatorem 8 konferencji naukowych o zasięgu krajowym.

Habilitant był wykonawcą w dwóch projektach sponsorowanych przez Narodowe Centrum Nauki (2013 – 2016) oraz Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (2008 – 2010), które wiążą się z jego główną tematyką badawczą. Aktywność naukowa habilitanta została doceniona na macierzystej uczelni w postaci dwóch nagród Rektora UMCS dla zespołu, w którym pracuje.

Habilitant jest również pomysłodawcą i współkonstruktorem nowatorskiego urządzenia *Waxo*, które pozwala badać jakość wosku pszczelego, pod kątem obecności sztucznych domieszek i ocenić jego przydatność, w szczególności w gospodarce pasiecznej. Urządzenia zaprojektowano i wykonano w ramach projektu "Inkubator Innowacyjności 2.0", którego habilitant był głównym kierownikiem (2018 – 2020). Urządzenie to objęte jest obecnie ochroną własności intelektualnej na podstawie trzech zgłoszeń patentowych w Polskim Urzędzie Patentowym oraz trzech zgłoszeń międzynarodowych PCT, które posiadają już pozytywną opinię wstępną. Urządzenie doczekało się licznych nagród w tym: Dyplomów Ministra i Edukacji oraz Ministra Funduszy i Polityki Regionalnej w ramach Międzynarodowych Targów Wynalazków i Innowacyjności INTRAG 2020 i 2021 oraz złotego medalu Euroinvent w Iasi (Rumuni, 2020).

Jako nauczyciel akademicki zatrudniony na uniwersytecie dr M. Pietrow prowadzi liczne zajęcia dydaktyczne (wykłady, laboratoria, konwersatoria) i uczestniczy w prowadzeniu prac dyplomowych; był promotorem 3 prac licencjackich. Od ponad 10 lat jest opiekunem studentów pierwszego roku na macierzystej uczelni. Ponadto był koordynatorem i pomysłodawcą dwóch projektów dydaktycznych („Łamigłówka *FlatWorld* - kostka Rubika, którą możesz ułożyć sam” oraz „Międzyszkolne Koła Olimpijczyków z Fizyki”), w których wspólnie ze studentami uniwersytetu oraz uczniami szkół średnich realizował prace badawcze z zakresu fizyki i matematyki. Był również wykonawcą w 5 projektach dydaktycznych finansowanych ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

Moim zdaniem, wymienione powyżej dane dowodzą, że dr M. Pietrow wykazuje się dużą aktywnością naukową. Tematyka badań, w które angażuje się habilitant jest bardzo szeroka. Podejmuje on zarówno prace teoretyczne i doświadczalne oraz angażuje się w konstrukcję nowych urządzeń technicznych, które niekoniecznie powiązane są ściśle z głównym nurtem jego zainteresowań naukowych. Ponadto potrafi on nawiązać ścisłą i efektywną współpracę badawczą z innymi ośrodkami krajowymi i zagranicznymi, która ma wymierny efekt w postaci wspólnych publikacji naukowych, konferencyjnych lub nowatorskich rozwiązań technicznych. Dodatkowo należy podkreślić, że jest również aktywnym dydaktykiem akademickim, który z dużym powodzeniem angażuje studentów i młodzież do pracy naukowej.

KONKLUZJA

W końcowym podsumowaniu mojej oceny pragnę stwierdzić, że dorobek naukowy dr Marka Pietrowa wnosi wkład w rozwój teoretycznych i doświadczalnych badań nad procesem formowania się i oddziaływania atomu pozytywu z ośrodkiem materii skondensowanej. Dr M. Pietrow opanował, zaadaptował i rozwinął wiele różnych modeli teoretycznych do opisu

badanego zjawiska. Przeprowadził również systematyczne i bogate badania eksperymentalne z wykorzystaniem wielu technik pomiarowych, w tym spektroskopii pozytonowej. Cykl publikacji, stanowiący jego osiągnięcie naukowe uważam za bardzo dobry, nowoczesny i zawierający ważne wyniki dla współczesnej fizyki. Ponadto dr M. Pietrow odważnie stawia hipotezy i dąży do ich weryfikacji, co świadczy o tym, że jest zdolny do prowadzenia samodzielnej pracy naukowej.

Stwierdzam, że dr Marek Pietrow ma indywidualny dorobek naukowy oraz wykazuje się aktywność badawczą, które spełniają wymogi ustawowe i zwyczajowe do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego. W związku z powyższym popieram wniosek dr Marka Pietrowa o nadanie mu stopnia doktora habilitowanego.

dr hab. Kamil Fedus, prof. UMK