



Mens agitat molem

**Zakład Teorii Fazy Skondensowanej UMCS**  
**Condensed Matter Theory Department**

ul. Radziszewskiego 10  
20 031 Lublin, POLAND

<http://kft.umcs.lublin.pl/ztf> fax: (+48 (0)81) 537 61 90

---

**Prof. dr hab. Karol Izydor Wysokiński** tel.(081)5376236 e.mail: [karol@tytan.umcs.lublin.pl](mailto:karol@tytan.umcs.lublin.pl)

---

Lublin dn. 19 września 2016 r.

Opinia o osiągnięciu habilitacyjnym

**dr Witolda Aleksandra Jacaka** z Politechniki Wrocławskiej

pt. „*Radiacyjne własności plazmonów w metalicznych nanocząstkach i plazmono-polarytonów w metalicznych nano-łańcuchach oraz układach jonowych wraz z zastosowaniami*” oraz osiągnięciach organizacyjnych i w kształceniu kadr.

Dr Witold Aleksander Jacak urodzony 10 sierpnia 1981 roku w Łodzi ukończył studia fizyczne i informatyczne na Politechnice Wrocławskiej w 2005 roku uzyskując tytuły zawodowe mgr inż. fizyki i mgr inż. informatyki. Pracę doktorską z fizyki wykonał pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Ryszarda Gonczarka w 2008 r. Temat rozprawy doktorskiej brzmiał „*Dekoherencja orbitalnych i kwantowych stopni swobody w kropkach kwantowych*”. Stopień naukowy doktora nadała mu Rada Naukowa Instytutu Fizyki Politechniki Wrocławskiej w dn. 26 czerwca 2008 r.

Przedstawione do oceny osiągnięcie habilitacyjne pt. „*Radiacyjne własności plazmonów w metalicznych nanocząstkach i plazmono-polarytonów w metalicznych nano-łańcuchach oraz układach jonowych wraz z zastosowaniami*” stanowi 19 publikacji naukowych, których wspólnym mianownikiem jest analiza roli plazmonów i plazmono – polarytonów (te ostatnie struktury to zhybrydizowane stany plazmonu i fotonu) w małych układach metalicznych i jonowych. Autor interesował się wspomnianymi wzbudzeniami kolektywnymi w metalicznych nanocząstkach i łańcuchach z nich utworzonych oraz takich ważnych układach jonowych jak aksony w układach nerwowych. Aksony to fragmenty neuronu odpowiedzialne za przekazywanie informacji. Przekaz ten ma zwykle postać propagujących się potencjałów czynnościowych wzbudzających kolejne aksony, neurony lub inne komórki układu nerwowego.

Spośród 19 publikacji wchodzących w skład osiągnięcia habilitacyjnego, aż 8 to jednoautorskie prace opublikowane w bardzo dobrych czasopismach, a jedna to zaproszony rozdział w monografii. Omówienie wszystkich wyników zamieszczonych w publikacjach wchodzących w skład obszernej habilitacji uczyniłoby tę opinię wielostronicowym opracowaniem. Z tego powodu omówię tylko niektóre uzyskane wyniki i publikacje. **Upredzając dalsze wywody stwierdzam, że osiągnięcia naukowe, organizacyjne i w kształceniu kadry dr Witolda A. Jacaka znacznie przekraczają zwyczajowe i ustawowe wymagania na tym etapie kariery naukowej.** Poniżej staram się uzasadnić tę opinię i oceniam osiągnięcia kandydata.

Ustalona przez Habilitanta kolejność prac w spisie publikacji osiągnięcia habilitacyjnego jest dla mnie niezbyt zrozumiała i dlatego będę je omawiał w zupełnie innej kolejności, ale jak wspomniałem wybiórczo. Może w tym miejscu warto się zatrzymać i przekazać parę moich (subiektywnych) spostrzeżeń dotyczących przygotowanych dokumentów. Są one zorganizowane zgodnie z wymogami odpowiednich przepisów i zawierają wyczerpujące dane. Wysoko cenię sobie dopiski 'Publikacja X' na każdej ze stron dokumentu zawierającego kopie publikacji wchodzących do habilitacji, co znakomicie ułatwia znalezienie konkretnej pracy. Pewnie recenzentowi byłoby jeszcze łatwiej, gdyby te kopie były poprzedzone spisem treści, bo chcąc znaleźć pracę np. opublikowaną w określonym czasopiśmie muszę w innych dokumentach szukać jej numeru i dopiero potem ją odnaleźć. To co mnie razi w dokumentach to oszacowania udziału procentowego wkładu własnego do publikacji wieloautorskich. Jeśli w pracy z czterema autorami udział habilitanta wynosi 90%, to udział każdego ze współautorów jest co najwyżej 3-4%. **Taki udział, moim zdaniem, w żadnym wypadku nie uzasadnia współautorstwa w pracy i wystarczyłoby jedynie podziękowanie. Należy pamiętać, że szacowany udział w publikacji, nie jest liczony liczbą godzin spędzonych na obliczeniach czy pisaniu. Sugestia dobrego tematu i dyskusja wyników uzasadnia współautorstwo w publikacji, ale wtedy wkład do publikacji jest istotnie większy niż wspomniane 3%.** Zatem albo część współautorów została dopisana bez adekwatnego udziału w badaniach, albo udział własny Habilitanta jest przeszacowany. Nie wyrażam opinii na temat żadnej z opcji (choć osobiście wolałbym tę drugą wersję), a jedynie zwracam uwagę na kłopoty recenzenta we właściwej ocenie wkładu Habilitanta, co jest ważnym elementem oceny. Jak wspomniałem już wcześniej przedstawione do oceny osiągnięcia habilitacyjne z nadmiarem spełnia wymogi ustawowe i moja opinia byłaby też w pełni pozytywna, gdyby tylko samodzielne publikacje Habilitanta weszły w jego skład.

Tematyka plazmonowa pojawia się w publikacjach dr Witolda Jacaka w 2010 roku. Mimo, iż w tym roku był on współautorem trzech publikacji, a w dwu teoretyczno - doświadczalnych jego nazwisko figuruje na pierwszym miejscu, to moim zdaniem podstawowa praca cyklu została opublikowana w Phys. Rev. B **82**, 035418 (2010). To, że habilitant jest w niej trzecim autorem nie ma znaczenia. Idee tej pracy zostały w późniejszych pracach habilitanta uogólnione, twórczo rozwinięte w różnych kierunkach i zastosowane do opisu bardzo różnych i nieoczekiwanych (przynajmniej dla piszącego te słowa) zjawisk. Tam są cenne i poważne osiągnięcia habilitanta, które z pewnością będą dyskutowane w literaturze przedmiotu, bo moim zdaniem, często otwierają nowe perspektywy badawcze i to w nowych dziedzinach wiedzy. Tak sądzę o pracy [3] habilitacji, którą omówię nieco później.

Imponujący jest zakres zastosowań uzyskanych wyników. Omawiane są zagadnienia z zakresu fotowoltaiki, która była jedną z ważniejszych oryginalnych motywacji powstania pracy [12] oraz m.in. prac [11,13,14,19]. Motywacja ta przewija się w szeregu innych publikacjach cyklu, aż do ograniczonych układów biologicznych. W tym ostatnim przypadku chodzi o struktury jonowe jak np. elektrolity osłonięte izolującymi lipidowymi błonami komórkowymi (praca [1]), albo o struktury układu nerwowego – praca [3]. Każdy z tych obszarów wiedzy posiada swoją specyfikę związaną ze strukturą, geometrią i funkcjonowaniem. Ważne są też skale energetyczne i zasięgi oddziaływań. Poznanie i dokładna analiza charakterystycznych cech układów

wymaga dużego wysiłku w zapoznaniu się i wyobraźni koniecznej do właściwego modelowania badanych procesów. Dr Witold A. Jacak znakomicie daje sobie radę z takimi wyzwaniem i proponuje oryginalny opis i często nowe zrozumienie właściwości badanych struktur.

Za jedno z ważniejszych osiągnięć dr Witolda Jacaka uważam uogólnienie teorii plazmonów jako elektronowych wzbudzeń kolektywnych na przypadek układów jonowych, w których zarówno dodatnie jak i ujemne jony są ruchliwe i upraszczający model jellium (stosowany w metalach) nie ma zastosowania. Wprowadzenie dwu fikcyjnych i ostatecznie kompensujących się modeli typu jellium dla każdego z rodzajów jonów jest eleganckim zabiegiem formalnym pozwalającym na uzyskanie wyników analogicznych jak dla plazmy elektronowej w cząstkach metalicznych. Jeśli dobrze zrozumiałem obliczenia w pracy [1] to uzyskano obraz dwu składnikowej plazmy, przy czym jony dodatnie poruszają się niezależnie od jonów ujemnych. Ta niezależność zapewnia równanie (3) w pracy [1]. Wydaje się, że wyjście poza to przybliżenie (np. w ramach teorii zaburzeń w odstępstwach gęstości od wartości  $\delta n_i(\mathbf{r})=n_i(\mathbf{r})-n(\mathbf{r})$ ) mogłoby doprowadzić do pojawienia nowych modów drgań plazmonowych, na wzór fononów optycznych lub może modów Leggetta w dwupasmowych nadprzewodnikach. Ciekaw jestem opinii Habilitanta na ten temat, bo wydaje mi się to ważnym poznawczo problemem występującym w elektrolitach (nawet objętościowych), ale może coś przeoczyłem?!

Jak już wspomniałem ważną motywacją przeprowadzenia wszechstronnej analizy właściwości plazmonów w nanocząstkach metalicznych były doświadczalne obserwacje zwiększonej efektywności krzemowych ogniw fotowoltaicznych po pokryciu powierzchni półprzewodnika warstwą nanocząstek złota, srebra lub miedzi o gęstości  $10^8-10^{10} \text{ cm}^{-2}$ . Aby zrozumieć takie zachowanie dr W. A. Jacak wraz ze współautorami lub samodzielnie analizował wzbudzanie plazmonów w sferycznych nanocząstkach, ich oddziaływanie i tłumienie w zależności od promienia i właściwości otoczenia. Podejście teoretyczne polegało na uogólnieniu przełomowych prac Bohma i Pinesa opisujących plazmony w materiałach litych na układy ograniczone (zwykle o symetrii sferycznej) i analiza wzbudzeń kolektywnych objętościowych i powierzchniowych. Okazało się, że klasyfikacja wzbudzeń plazmonowych na powierzchniowe i objętościowe jest możliwa jedynie w dostatecznie dużych cząstkach o promieniu  $r$  ponad 5 nm. W małych cząstkach silne sprzężenia pomiędzy dwoma rodzajami wzbudzeń i powłokowe efekty kwantowe uniemożliwiają ich rozdzielenie. Stwierdzono, że częstości rezonansowe plazmonów objętościowych w dużych ( $r > 10$  nm) cząstkach są zawsze większe od częstości plazmy  $\omega_p$  w materiale litym, natomiast częstości modów powierzchniowych są zawsze mniejsze niż  $\omega_p$ .

Ważną i cenną cechą prac Habilitanta jest dążenie do uzyskania analitycznych formuł. Nie rezygnuje on jednak z metod numerycznych, co widać np. w pracy [15] napisanej wspólnie z magistrantką. Praca ta jest znakomitym przykładem dążenia habilitanta to jak najlepszego zrozumienia problemu i ograniczeń ulubionych metod badawczych. Autorzy porównują częstości plazmonów w nanocząstkach sferycznych i w postaci nanoprętów i struktur sferoidalnych obliczone numerycznie metodą elementów skończonych zastosowanej do rozwiązania równań Maxwella pola elektromagnetycznego z wynikami teorii bazującej na przybliżeniu RPA oraz pomiarami eksperymentalnymi. Wynikiem analizy w tej publikacji jest znalezienie

obszarów dobrej zgodności i identyfikacja efektów koniecznych do uwzględnienia. Podkreślanym przez autorów faktem jest konieczność właściwego opisu tłumienia plazmonów w dużych strukturach ( $r \approx 20-60$  nm, złoto w próżni) wynikającego z rozpraszania elektronów i strat radiacyjnych (tarcie Lorentza). Innym ciekawym i oryginalnym wynikiem tej pracy są obliczenia numeryczne (pakiet COMSOL) dla nanoprętów i struktur sferoidalnych złota w tym dla modów poprzecznych i podłużnych. Podobne struktury są badane w grupach doświadczalnych w Polsce i na świecie, a przykładem jest praca [14].

Zjawisko tłumienia plazmonów, lub prawie zupełny jego brak w odpowiednio zdefiniowanych łańcuchach nanocząstek są kluczowe dla zrozumienia właściwości wielu konkretnych układów i odgrywają ważną rolę w zastosowaniach teorii do analizy układów biologicznych [1,3]. Kolektywne drgania plazmy elektronowej są tłumione w wyniku rozpraszania na elektronach, strat radiacyjnych lub rozpadu plazmonu na elektrony (a właściwie kwazicząstki) o energiach dalekich od energii Fermiego. W pracy [2] dokładnie analizowane jest zjawisko tzw. tarcia Lorentza wynikającego z wypromieniowania fal elektromagnetycznych przez poruszające się kolektywnie ładunki. Obliczenia w ramach teorii zaburzeń pokazują, że tłumienie jest proporcjonalne do trzeciej potęgi promienia nanocząstki. Taki szybki wzrost okazuje się mieć miejsce tylko w pewnym zakresie rozmiarów cząstek. Dla większych struktur należy wyjść poza rachunek zaburzeń. W omawianej pracy Habilitant ściśle rozwiązał równanie różniczkowe trzeciego rzędu z tarciem Lorentza i pokazał, że dla cząstek o  $r > 30$  nm efekty nieperturbacyjne są bardzo ważne – przynajmniej dla złota w próżni. Autor stwierdza, że ściśle uwzględnienie wkładu tarcia Lorentza do tłumienia plazmonów prowadzi do bardzo dobrej zgodności obliczeń z wynikami pomiarów dla złota i srebra w zakresie rozmiarów od 30 nm wzwyż. Zjawiska te były też analizowane w pracy [4] opublikowanej w J. Phys. Chem. C w 2015r.

Ważne i godne specjalnego odnotowania szczegółowe wyniki uzyskane przez Habilitanta to m.in. teoretyczna analiza zaobserwowanej doświadczalnie bezstratnej propagacji plazmonów powierzchniowych wzdłuż metalicznego nanołańcucha i wykazanie, że sugerowane przez inne grupy nadświetlne prędkości propagacji są artefaktem analizy. Bezstratna propagacja wzbudzeń kolektywnych w periodycznych strukturach ma znaczenie dla rozwoju nanofotoniki, konstrukcji falowodów plazmonowych i wynikających stąd zastosowań omijających dyfrakcyjne ograniczenia stosowanych metod optoelektroniki.

Jak już wcześniej pisałem za jedno z ważniejszych osiągnięć Habilitanta uważam rozszerzenie modelu plazmonów w gazie elektronowym na układy jonowe (elektrolity) i dalsza analiza plazmonów i plazmono – polarytonów jonowych w skończonych układach [1]. Przykładem takich układów są elektrolity występujące w materii żywej i ograniczone do małych rozmiarów przez izolujące błony lipidowe. Opis plazmonów jonowych w małych układach [1] uogólniony na periodyczne struktury jednowymiarowe w pracy [3] został zastosowany do wspomnianego już wcześniej przekazu informacji w mielinowanych aksonach w układzie nerwowym. Aby wyjaśnić wzrost prędkości przekazu sygnału (o ponad dwa rzędy wielkości) wzdłuż aksonów mielinowanych w porównaniu z nieosłoniętymi grubą otoczką mielinową, Habilitant zastosował model jonowego plazmono – polarytonu propagującego się wzdłuż nieciągniętego włókna nerwowego. Nieciągniętości włókna są naturalne i

związane z tzw. przerwami Ranviera, czyli periodycznie rozłożonymi fragmentami aksonu nie osłoniętymi otoczką mielinową. W takich warunkach możliwe jest bezstratne poruszanie się plazmonu jonowego i dostatecznie szybki przekaz informacji w postaci potencjału czynnościowego do sąsiednich fragmentów neuronu uzyskany – według autora – „przy realistycznych parametrach elektrolitu cytoplazmy aksonu”. Taki falowy opis przewodnictwa skokowego ma uzasadnienie w obserwacjach. Omawiana praca została opublikowana w J. Chem Phys. C w 2015 roku i jest znakomitym przykładem nietuzinkowego podejścia dr. Witolda Jacaka do nauki i przekraczania barier tematycznych.

W dostarczonych mi do oceny materiałach habilitacyjnych przedstawiono też pewne dane bibliometryczne. Osobiście uważam, że taka ‘naukowa numerologia’ czyli ocenianie pracowników i instytucji za pomocą tylko liczby cytowań, indeksu Hirscha i współczynnika wpływu (*impact factor*) czasopisma robi nauce więcej krzywdy niż pożytku, ale pewnie już nie ma odwrotu od tego stanu rzeczy, bo liczby są łatwiejsze do zrozumienia niż treści artykułów naukowych. Tak więc znajduję liczbę cytowań prac habilitanta przez innych autorów z początku 2016 roku wynoszącą 54, ale w bazie danych w końcu sierpnia 2016 wynosi ona już ponad 60. Oznacza to znaczny wzrost cytowań w okresie paru miesięcy. Jestem przekonany, że trend ten nie tylko się utrzyma ale wręcz się zwiększy. Zauważam też, że niektóre prace cytujące habilitanta (szczególnie te eksperymentalne) mają już bardzo wiele cytowań. M. in. ponad 250 cytowań ma praca cytująca habilitanta, a pochodząca z 2012 roku pt. „*Photocatalytic Activity Enhanced by Plasmonic Resonant Energy Transfer from Metal to Semiconductor*„, Cushing, S. K.; Li, Jiangtian; Meng, Fanke; et al., JOURNAL OF THE AMERICAN CHEMICAL SOCIETY, **134** 15033-15041 (2012), której tytuł nawiązuje do tytułu osiągnięcia habilitacyjnego dr W. Jacaka. Oznacza to aktualność i wagę uprawianej przez dr Witolda Jacaka problematyki naukowej.

Habilitant ma poważne osiągnięcia publikacyjne nie wchodzące do habilitacji. Związane są one z badaniami plazmonów, ale też kropek kwantowych i informatyką kwantową. Nie będę ich omawiał szczegółowo. Na podkreślenie zasługuje fakt wielu konferencyjnych prezentacji wyników badań własnych. Na stronie 21 dokumentacji habilitacyjnej znajduje się skromne stwierdzenie „*Habilitant zapraszany był na kilka konferencji, gdzie wygłosił wykłady plenarne i inne prezentacje. Był chairmanem dużej międzynarodowej konferencji seQre2014 we Wrocławiu*”. Dalej jest wykaz kilkudziesięciu konferencji, gdzie prezentował wyniki własnych badań – szkoda tylko, że przy każdej konferencji nie napisano wyraźnie o jaki rodzaj prezentacji tam chodzi.

Chciałbym jeszcze podkreślić osiągnięcia edukacyjne i w kształceniu kadry. W materiałach jest informacja o 3 magistrantach, takiej samej liczbie inżynierów oraz o pełnieniu funkcji promotora pomocniczego w przewodzie pani Katarzyny Kluczyk. To spory dorobek. Dr Witold Jacak kieruje dwoma grantami (NCN i NCBiR), był wykonawcą lub głównym wykonawcą kilku innych grantów finansowanych przez polskie i zagraniczne instytucje. Prowadził szereg wykładów z fizyki i informatyki zarówno w j. polskim jak i angielskim. Bardzo dobrze zna język japoński (certyfikat AJ). Spośród wielu innych aktywności (wymienionych na str. 11-19 dokumentacji) wspomnę tylko o tym, że jest on członkiem Rady Naukowej European Information Technology Certification Institute w Brukseli, jest koordynatorem paru projektów międzynarodowych, posiada współpracę naukową z instytucjami w Karlsruhe (Niemcy), Odessie

(Ukraina), Walencji (Hiszpania), Wiedeń (Austria), Chang Gung (Korea) i wspomnianym EITCI Bruksela (Belgia). Wielokrotnie uzyskiwał nagrody za badania naukowe, w tym dwukrotnie prestiżowe stypendium Start Fundacji na rzecz Nauki Polskiej. Recenzował kilkanaście prac naukowych dla różnych czasopism.

**Reasumując stwierdzam, że osiągnięcie habilitacyjne oraz inna działalność naukowa, organizacyjna i w kształceniu kadry dr Witolda Aleksandra Jacaka stoją na najwyższym poziomie, z nadmiarem spełniają naukowe i zwyczajowe wymagania stawiane osobom występującym o stopień doktora habilitowanego nauk fizycznych i z całym przekonaniem wnoszę do Komisji ds. przewodu i Rady Naukowej o nadanie Habilitantowi stopnia dr hab. w dziedzinie fizyka.**

Ze względu na wspomniany wyżej wysoki poziom osiągnięć we wszystkich ocenianych aspektach wnioskuję o wyróżnienie habilitacji i jej autora w adekwatny sposób.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'W. Pokorski', is written in a cursive style.