

Dr hab. inż. Witold Aleksander Jacak
Katedra Technologii Kwantowych
Wydział Podstawowych Problemów Techniki
Politechnika Wroclawska
Wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

Wrocław, 27 maja 2017

Recenzja wniosku habilitacyjnego dra Tomasza Antosiewicza
osiągnięcia naukowego pt.

Absorpcja światła w nanostrukturach plazmonicznych

Dr Tomasz Antosiewicz jest zatrudniony od 2013 roku w Centrum Nowych Technologii Uniwersytetu Warszawskiego. Studia z zakresu fizyki ukończył na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego w 2005 roku. Dr Tomasz Antosiewicz obronił pracę doktorską w 2009 roku na Wydziale Fizyki UW. Pracę doktorską pt. „Wpływ nanostruktury metalizowanej sondy na rozdzielczość optycznego mikroskopu skaningowego płaskiego pola” wykonał pod kierunkiem prof. Tomasza Szoplika z Wydziału Fizyki UW. Obecnie dr Tomasz Antosiewicz przedstawił osiągnięcie naukowe „Absorpcja światła w nanostrukturach plazmonicznych” w postaci powiązanych tematycznie 8-miu publikacji jako rozprawę habilitacyjną. Wszystkie te publikacje są współautorskie (2, 3, 4 autorskie) z oświadczeniem wkładu dra Tomasz Antosiewicza, 50% w 2, 45% 1, 70% 1, 90% 1, 75% 1, 85% 1, 65% 1, 80% 1, co znacznie redukuje liczbę publikacji, a poza tym brak samodzielnych prac nie działa na korzyść habilitanta. Sytuację poprawia dobra jakość publikacji w wysoko punktowanych czasopismach: Nano Letters 1, Phys. Rev. Lett. 1, ACS Photonics 2, Adv. Opt. Mater. 1, RCS Adv. 1, Opt. Express 1, J Phys. Chem. C 1. Publikacje te są z lat 2012-2015. Publikacje dra Tomasza Antosiewicza niewchodzące do osiągnięcia habilitacyjnego w liczbie 37 również są wszystkie współautorskie (liczne z prof. Tomaszem Szoplikiem) przy średnim udziale habilitanta około 30%. Liczne z tych publikacji są również opublikowane w bardzo dobrych czasopismach. Mimo pewnego niedostatku samodzielnych prac można jednak uznać dorobek habilitanta za uzasadniający przedstawiony przez niego wniosek. Łączna liczba cytowań wszystkich tych prac wynosi około 400.

Prace z cyklu przedstawionego jako rozprawa habilitacyjna dotyczą absorpcji fal e-m wzbudzających w metalicznych nanostrukturach plazmony powierzchniowe. Autor wyróżnia dwa typy zagadnień – pochłanianie światła w różnych zakresach w pojedynczym elemencie

nanoskopowym i pochłanianie w matrycy (nazywanej przez autora 'macierzą') takich elementów przy uwzględnieniu wzajemnego wpływu tych elementów na efekty pochłaniania. Prace dotyczą wzmocnienia pochłaniania fal e-m w wyniku sprzężenia m.in. nanodysków złota i palladu, gdy jeden z nich odgrywa rolę anteny (złoty) a drugi absorbera z silnym pochłanianiem. Taki układ badany był przy udziale habilitanta w dwóch pierwszych pracach (1-2), w kolejnych (3-4) rozpatrzono inne materiały do struktury kanapkowej, srebro, platynę, ruten, rod i wanad. Poszukiwano przy tym optymalnego zestawu materiałowego dla maksymalizacji wzmocnienia pochłaniania. Rozmiarowe analizy wskazały równocześnie na korzystne z punktu widzenia efektywności indukowanego pochłaniania mniejsze rozmiary dysko-kształtnych rezonatorów i bardzo bliskie położenia anteny i absorbera. Ten interesujący kolektywny plazmonowy efekt w różnorodnych konfiguracjach materiałowych i rozmiarowych zbadany został przy udziale habilitanta teoretycznie i eksperymentalnie i jakościowo tłumaczony był w kategoriach analogii do sprzężonych oscylatorów mechanicznych. Metody stosowane do teoretycznej analizy efektu to typowe optyczne narzędzia badania konfiguracji i rozkładu składowych pola e-m w pobliżu powierzchni metalicznych nano-elementów. Autorzy przedstawionych prac odwołują się do plazmonów powierzchniowych wzbudzanych w tych metalicznych nanocząstkach w terminach raczej jakościowych, odnosząc plazmony do oscylacji elektronów względem dodatnio naładowanej sieci krystalicznej jonów, pomijając mikroskopię tych koherentnych wzbudzeń wynikających z oddziaływania elektronów w metalicznych układach. Nie wychodząc poza taki jakościowy opis autorzy posługują się głównie dipolowym przybliżeniem a jeśli uwzględniają inne multipole to w ramach podejścia typu Mie (czyli dekompozycji płaskiej fali padającej na harmoniki sferyczne z powodu krzywizny warunków brzegowych w równaniach Fresnela). Chociaż analitycznie rozwiązanie propagacji fali e-m z warunkami brzegowymi typu Mie możliwe jest dla sferycznej geometrii (ewentualnie w pewnym stopniu dla elipsoidy), to to całkowicie klasyczne podejście z początku XX wieku do plazmonów powierzchniowych zdominowało niemal całą dziedzinę plazmoniki, choć niesłusznie, bo plazmony są tam wstawione heurystycznie i w bardzo przybliżony sposób, pomijając złożoną mikroskopię tych kolektywnych wzbudzeń w metalach, bardzo czułych na rozmiarowe i geometryczne uwarunkowania. Materiałowe charakterystyki metalicznych elementów zadawane są w modelach klasycznych wyłącznie fenomenologicznie w postaci eksperymentalnie określonych funkcji dielektrycznych materiałów odnoszonych z reguły do układów rozciągniętych (typu *bulk*), z pominięciem mikroskopowych szczegółów tłumienia plazmonów różnymi kanałami wewnątrz metalicznego elementu, na jego ściankach i strat radiacyjnych silnych zwłaszcza w nanocząstkach w pewnym przedziale rozmiarów, a nieistotnych w *bulk*. Efekty wzmocnienia odpowiedzi plazmonowej kojarzone są w klasycznym podejściu głównie z silną koncentracją lokalną natężenia pola elektrycznego zdeformowanej fali e-m przy metalicznych nano-elementach, w szczególności przy krawędziach (krzywiznach). Takimi efektami autorzy dość skutecznie tłumaczą jednak obserwowane eksperymentalnie wzmocnienia absorpcyjne i sprzężenia między elementami bardziej złożonych układów w

postaci matryc metalicznych nano-elementów (zwłaszcza w pracach 6-8, gdzie z powodzeniem rozważają amorficzne płaskie rozkłady metalicznych nanoelementów w matrycach). Stosunkowa prostota i uniwersalność formalizmu i unikanie mikroskopowego wejrzenia w plazmonowe wzbudzenia staje się tutaj jednak przewagą pozwalającą na sprawny i skuteczny opis często stosunkowo złożonych układów z przybliżoną precyzją ale wystarczającą do identyfikacji silnych efektów (jak np. wielokrotnego czy kilkudziesięciokrotnego nawet wzmocnienia pochłaniania opisywanego w pracach 2-4). To czyni prace autorów bardzo istotnymi, gdyż definiują i odkrywają silne efekty, które mogłyby być trudne do zauważenia czy opisanie bardziej precyzyjnymi metodami. Zatem prace habilitanta należy uznać za wartościowe a ponadto wskazujące na ciekawe zastosowania, jak np. silne wzmocnienie katalizy na powierzchni odpowiednio dobranych struktur nano-metalicznych ze sterowanym rezonansem. Bardzo interesujące jest tu dobranie optymalnych rozmiarów nano-elementów i materiałów do zastosowań katalitycznych, co przedstawione zostało w pracy 4. Należy podkreślić, że skorelowanie rozważań z eksperymentem stanowi w przedstawionym cyklu prac istotny element sprzężenia zwrotnego w modelach teoretycznych zapewniający realistyczność rozważań i koncepcji, mimo ich często makroskopowego charakteru nie wykraczającego poza zasięg klasycznej elektrodynamiki Maxwella z wyreprezentowaniem metalu wyłącznie fenomenologicznie poprzez uproszczoną funkcję dielektryczną. Mimo tego sukcesu prac przy udziale habilitanta pozostaje jednak interesujący obszar mikroskopii efektów potraktowanych w tych pracach fenomenologicznie. Funkcje dielektryczne używane w podejściu autorów to zwykle wielkości ujęte w przybliżeniu Drudego i Lorentza przy wprowadzeniu plazmonów przybliżeniem Froehlich'a. Choć jest to stosunkowo skuteczne, to jednak wyłącznie fenomenologiczne i szczegóły dyspersji plazmonów powierzchniowych a zwłaszcza ich tłumienia i rozmiarowej charakterystyki tłumienia (w wyniku strat promienistych i rozproszeń elektronów) w konkretnych nanostrukturach są poza zasięgiem przybliżeń i mogą być dopiero uwzględniane w wyniku konfrontacji z eksperymentem. W szczególności nie jest wyjaśniony mechanizm mikroskopowy silnego sprzężenia nano-podukładów poza wynikiem lokalnego zagęszczenia pól. Mikroskopowe opisanie poprzez choćby złotą regułę Fermiego nie zostało podjęte, co zapewne nie byłoby zbyt proste z uwagi na niesferyczną i dość złożoną geometrię oraz wieloskładnikowy układ. Rozpoznanie takim kwantowym rachunkiem mogłoby być jednak skuteczne w odkryciu detali zależności rozmiarowych i konfiguracyjnych, co zastąpione jest w pracach habilitanta sprawdzeniem eksperymentalnym lub po prostu niezauważeniem wobec silnych pierwszo-rzędowych efektów samego tylko wzmocnienia koncentracją pola. Nie jest to wcale jednak takie pewne, gdyż bardziej precyzyjne rozmiarowe kwantowe efekty w nanostrukturach plazmonicznych mogą i weryfikują obecnie utarte wcześniejsze poglądy także w pierwszo-rzędowych efektach fotowoltaicznych czy radiacyjnych. Stosunkowo szeroki zakres i różnorodność uzyskanych przez autora prostszymi metodami wyników podkreśla jednak wartość przedstawionego osiągnięcia i można je uznać za wystarczające dla postępowania habilitacyjnego.

Habilitant krótko odnosi się w swoim autoreferacie także do pozostałych swoich osiągnięć niewłączonych do rozprawy habilitacyjnej (nazywanej zgodnie z obecną terminologią osiągnięciem naukowym). W pozostałym dorobku habilitanta wcześniejsze rezultaty odnoszą się do badania metamateriałowych układów, podniesienia rozdzielczości optycznej mikroskopii skaningowej (doktorat habilitanta), plazmonowych czujników czy nielokalnych plazmonowych efektów w nanocząstkach. Najciekawiej tu brzmi kierunek plazmonowo-ekscytonowego sprzężenia rozpoczęty przy udziale habilitanta, słabo jeszcze rozpoznanego w plazmonice. Warto dodać, że końcowych pracach cyklu włączonego do habilitacji dra Tomasza Antosiewicza ten kierunek także jest korzystnie przez niego dostrzegany.

Habilitant przedstawił swoje osiągnięcia (również wszystkie współautorskie) na 9 konferencjach (16 konferencji, na których prace były prezentowane przez współautorów). Kierował 3-ma projektami krajowymi (Juventus plus, Homing plus, Sonata) i był wykonawcą w kilku innych (głównie niekontraktowe współuczestnictwo w sieci COST). Habilitant odbył 2 krótkie i jeden dłuższy staż zagraniczny. Recenzował liczne publikacje w międzynarodowych czasopismach optycznych. Był promotorem jednej pracy licencjackiej (zakończony) i uczestniczył w opiece naukowej nad 3-ma doktorantami (w żadnym przypadku stopień dra nie został jeszcze osiągnięty). Dorobek dydaktyczny nieco ograniczony (prowadzenie zajęć w 1 laboratorium i 1 ćwiczenia rachunkowe) nie licząc udziału w wykładach w czasie stażów zagranicznych.

Słabsze elementy ogólnego dorobku habilitanta (jak niewielkie doświadczenia dydaktyczne) kompensowane są innymi mocniejszymi (jak zagranicznymi stażami), co czyni łącznie wystarczającym dorobek dla uzasadnienia wniosku habilitacyjnego. W uznaniu wysokiego poziomu prac habilitanta wnoszę o dopuszczenie go do kolejnych etapów procedury. W przypadku ewentualnego wniosku komisji o wyróżnienie przyłączę się do takiego, gdyż mimo pewnych niedostatków prezentowane osiągnięcie naukowe jest z pewnością bardzo dobre.



Witold A. Jacak