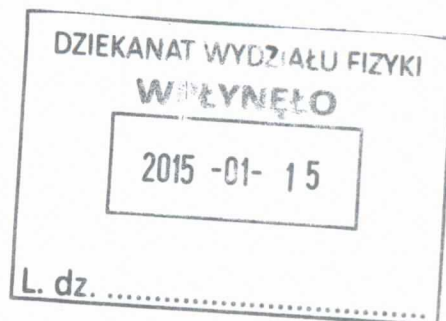


Prof. dr hab. Tadeusz Suski
Instytut Wysokich Ciśnień
Polskiej Akademii Nauk



Warszawa, 5 stycznia 2015

Recenzja
dorobku naukowego oraz rozprawy habilitacyjnej dr Jacka Szczytko,
zatytułowanej:
„Własności optyczne plazmy w nanostrukturach półprzewodnikowych i
metalicznych”

Rozprawa habilitacyjna.

Rozprawę habilitacyjną dr J. Szczytko tworzy 6 prac. Dotyczą one dwóch biskich sobie tematów badawczych. Połączonych przez habilitanta hasłem badania optyczne plazmy w nanostrukturach. Prace te są wieloautorskie. Oświadczenia współautorów jednoznacznie wskazują, że w przypadku wszystkich prac wkład J. Szczytko był decydujący. 3 prace ukazały się Phys. Rev. Lett. (H1-liczba cytowań 43; H3-liczba cytowań 54; H4-liczba cytowań 9), jedna w Physical Review B (H2-liczba cytowań 12) i dwie w Physical Review E (H5 i H6, bez cytowań).

Pierwsza z tematów eksplorowana we współpracy z grupą z Lozanny (prace H1-H4), obejmuje badania natury tworzenia ekscytonów i trionów oraz zależności odpowiedzialnych za ten efekt procesów od gęstości plazmy elektronowo-dziurowej wytworzonej poprzez pobudzenie laserem o zmiennej intensywności. W pracach H1 i H2 autorzy odpowiadają na dwa pytania zadawane w wielu ośrodkach naukowych w okresie poprzedzającym pojawienie się omawianych prac, tzn. od lat 90. zeszłego wieku. Pierwsze z nich to: w jaki sposób (i w jakiej skali czasowej) swobodne elektrony i dziury wiążą się po impulsie laserowym tworząc ekscytony. Drugie dotyczy możliwości uczestnictwa ekscytonów w fotoluminescencji, tuż po wzbudzeniu półprzewodnika. To ostatnie pytanie było o tyle kluczowe, że w momencie rozpoczęcia szczegółowych badań opisanych w pracach H1 i H2, istniała propozycja kwestionująca udział ekscytonów w fotoluminescencji (Grupa z Marburga, publikacje Kira i współpracownicy). Propozycja ta bazowała na pomysłach, zakładających, że właściwe uwzględnienie efektów korelacji kulombowskich w zachowaniu plazmy swobodnych elektronów i dziur prowadzi do zgodności energii obserwowanej fotoluminescencji i energii ekscytonu, jednak bez obsadzeń stanów ekscytonowych. Przeprowadzone i opisane w pracach H1 i H2 pomiary i ich interpretacja wsparta modelowaniem numerycznym wykazały, że ekscytony stanowią ważny element składowy rekombinacji promienistej w półprzewodnikowych studniach kwantowych i że czas tworzenia ekscytonu jest zależny od gęstości tworzonych nośników. Zmienia się od 10 ps do 570 ps po momencie wzbudzenia nośników przez rosnący w intensywności impuls laserowy. W tym czasie gęstość nośników rośnie o dwa rzędy wielkości. Ten wynik wyjaśnił pozorne kontrowersje na temat czasu tworzenia ekscytonu z plazmy elektronowo-dziurowej. Literaturowe dane doświadczalne uzyskiwane w różnych laboratoriach (w warunkach różnych pobudzeń i różnych próbek) obejmowały zakres od czasów poniżej 10 ps do około 1 ns.

Należy zaznaczyć, że kluczowym elementem odpowiedzialnym za sukces tych pomiarów (a także dla zagadnień badanych w pracach H3 oraz H4) była możliwość użycia próbki o strukturze

pojedynczej studni kwantowej $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{As}/\text{GaAs}$. Dzięki wyjątkowo wysokiej jakości tej próbki, wyhodowanej metodą epitaksji z wiązek molekularnych (na podłożu GaAs), możliwa była jednoczesna obserwacja procesów związanych z fotoluminescencją wywołaną zarówno ekscytonami jak i plazmą elektronowo-dziurową. Takie warunki zapewniała eliminacja procesów rekombinacji niepromienistej oraz niewielka szerokość linii badanych przejść optycznych. Spełnienie tego ostatniego warunku było wynikiem utrzymania jednakowej szerokości studni kwantowej na znacznych obszarach próbki i istotnej redukcji poszerzenia stopowego związanego z wprowadzeniem indu do studni kwantowej.

Praca H3 dotyczy warunków zachodzenia przejścia Motta w optycznie wzbudzonym półprzewodniku a konkretnie w omawianej powyżej studni kwantowej $\text{InGaAs}/\text{GaAs}$ z 5% zawartości indu. Wraz ze wzrostem gęstości wytwarzanych nośników J. Szczytko i współpracownicy obserwowali przejście metal-izolator pomiędzy gazem ekscytonów i plazmą nieoddziałujących elektronów i dziur. Do momentu powstania omawianej tutaj pracy, nie było przekonujących informacji eksperymentalnej na temat własności przejścia Motta w pobudzonym optycznie półprzewodniku. Był to fakt zaskakujący dla recenzenta. Autorzy pracy H3 wyjaśniają przekonująco dlaczego wcześniej nie udało się takich pomiarów przeprowadzić. W przypadku próbki objętościowej trudno uzyskać jej jednorodne pobudzenie. Ze względu na absorpcję promieniowania laserowego o energii przewyższającej przerwę energetyczną wraz z odległością od powierzchni próbki intensywność pobudzenia istotnie maleje. Ten sam argument stosuje się do próbki zawierającej wielostudnie kwantowe.

Jak już wspomniano powyżej wykorzystywana próbka dzięki wysokiej jakości strukturalnej dawała możliwość obserwacji obu składowych luminescencji międzypasmowej, związanej z fazą ekscytonową i plazmą zawierającą swobodne nośniki, elektrony i dziury. Dzięki temu „próbkowanie” przejścia Motta stało się możliwe w szerokim zakresie koncentracji nośników. Stwierdzono, że przejście Motta zachodzi stopniowo pomiędzy gęstością nośników $1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ i $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$. Poniżej $1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ obserwowano dwie składowe luminescencji. Zarówno tę pochodzącą od swobodnych nośników i odpowiadającą przerwie energetycznej materiału studni kwantowej jak i przesuniętą w niższe energie o 6.5 meV, związaną z ekscytonem 1s. Ta druga składowa jest dominująca. Dodatkowo stwierdzono: i) obniżenie energii jonizacji ekscytonu towarzyszące wzrostowi gęstości nośników, ii) brak obniżenia energii wiązania ekscytonu i energii przerwy energetycznej. Dla gęstości nośników powyżej około $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ rezonans ekscytonowy przestaje być widoczny a wysokoenergetyczny, ekspotencjalny „ogon” luminescencji wskazuje na niezdegenerowaną plazmę elektronowo-dziurową jako przyczynę luminescencji. Jednocześnie, wraz ze wzrostem gęstości nośników, obserwuje się efekt zmniejszania się przerwy energetycznej (efekty wielociałowe).

Prace H1-H3 powstały w latach 2004-2005 i były bezpośrednio związane z po-doktorskim stażem Jacka Szczytko na Politechnice w Lozannie. Bardzo efektywna współpraca z tą grupą badaczy trwała nadal czego najlepszym dowodem jest opublikowanie w 2009 r., w *Phys. Rev. Lett.* pracy: „Dynamics of Trion Formation in $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ Quantum Wells”. Pomimo aktualnej w tym momencie tematyki jaką było tworzenie naładowanych ekscytonów i bardzo dobrego czasopisma, publikacja ta uzyskała znacznie mniej cytowań (9) w stosunku do prac H1 i H3 (około 50 cytowań każda). Zastosowanie koncepcji pobudzania fotoluminescencji różnymi energiami lasera, prowadzi do wstrzykiwanie nadmiarowych nośników (elektronów i dziur pochodzących z nieintencjonalnych domieszek) i umożliwia obserwację trionów ujemnie i dodatnio naładowanych X^- i X^+ . W pracy H4 badano próbkę identyczną do wykorzystywanej w pracach H1-H3. Było to warunkiem koniecznym dla uzyskania odpowiednio bogatych widm luminescencji zawierających wszystkie analizowane procesy.

Badane w pracach H1 i H2 ekscytyny tworzyły się w ramach procesów dwu-cząstkowych. W pracy H4 rozważa się procesy dwu- i trójcząstkowe prowadzące do tworzenia się trionów. Pierwszy reprezentuje układ neutralny: ekscyton –nośnik, drugi uwzględnia trzy nośniki. Przeprowadzone pomiary wykazują współistnienie w widmie fotoluminescencji studni kwantowej zarówno ujemnie jak i dodatnio naładowanych ekscytonów. Nawet w nieobecności dodatkowych nośników. Autorzy pracy H4 badają dynamikę wiązania trionów poprzez niezależne prześledzenie ewolucji czasowej luminescencji pochodzącej od trionów, ekscytonów i plazmy swobodnych nośników. Dodatkowo, pokazują, że wraz ze wzrostem koncentracji nośników procesy trójcząstkowe stają się coraz ważniejsze.

Druga grupa zagadnień wchodzących w skład rozprawy habilitacyjnej dr Jacka Szczytko dotyczy badań optycznych, a właściwie magnetoptycznych nanocząstek ferromagnetycznego kobaltu w zawiesinie dielektrycznej (cykloheksan). Jak wiadomo w przypadku metalu nie obserwuje się luminescencji, funkcja dielektryczna w obszarze częstości optycznych ma wartość ujemną. Wnikanie fali elektromagnetycznej do metalu jest zaniedbywalne, natomiast efektem często badanym w przypadku nanocząstek metalicznych są plazmony powierzchniowe. Silne sprzężenie fali elektromagnetycznej o określonej energii ma miejsce wtedy gdy jej długość jest porównywalna z wymiarami geometrycznymi nanocząstek, takimi jak krzywizna czy kształt. Wyniki badań przeprowadzonych w ramach tej ostatniej tematyki zawierają prace H5 i H6. Obie zostały opublikowane w 2013 r. w *Physical Review E*, a ich pierwszym autorem jest dr Jacek Szczytko.

W pracy H5 przedstawione są wyniki badań doświadczalnych i teoretycznych efektu Faradaya w takiej ferrocieczy. Zasadniczym ich elementem jest wyznaczenie efektywnego tensora dielektrycznego (biorąc pod uwagę rozkład położeń magnetycznych momentów nanocząstek w zewnętrznym polu magnetycznym). Wykonanie powyższego zadania umożliwiło wyznaczenie częstości plazmowej λ_p (około 200 nm) nanocząstek kobaltu, ich efektywnej średnicy magnetycznej i uśrednionego momentu magnetycznego jednej cząsteczki. Zwraca uwagę podobieństwo częstości plazmowej nanocząstek i objętościowego kobaltu. Jest to interpretowane jako brak wpływu wielkości nanocząstek na koncentrację swobodnych nośników. Recenzenta zainteresowało przeprowadzone w pracy porównanie wyznaczonych efektywnych średnic magnetycznych nanocząstek z ich średnicami geometrycznymi zmierzonymi metodą niskokątowego rozpraszania rentgenowskiego. Zestaw pierwszego rodzaju średnic to : 3.1, 4.1 i 9.0 nm drugi rodzaj to odpowiednio: 3.6, 6.3, 11.0 nm. A więc, niemagnetyczna otoczka ma grubość od 0.5 do 1.0 nm. Odpowiada to grubości tworzonej przez kilka atomów kobaltu. Tworzenie tej niemagnetycznej otoczki autorzy tłumaczą redukcją oddziaływania spinowo-wymiennego na powierzchni nanocząstki w porównaniu z jej wnętrzem.

W pracy H6 przedmiotem badań są te same nanocząstki kobaltu wykorzystane poprzednio w pracy H5. Autorzy koncentrują się na analizie efektów dotyczących dwójtomności badanej ferro cieczy, wyidukowanej zewnętrznym polem magnetycznym (efekt Cotton'a-Mutton'a). Praca zawiera wyniki przeprowadzonych pomiarów i obliczeń. Dwójtomność zmierzona w funkcji pola magnetycznego i objętościowej zawartości nanocząstek w roztworze (tzn. koncentracji - f) jest proporcjonalna do kwadratu f . Tłumaczy się to tworzeniem dimerów nanocząstek, wykluczając możliwość powstawania sztywnych łańcuchów. Jest to zgodne z wynikami obliczeń przeprowadzonych w pracy metodą funkcjonału gęstości.

Spójność tematyki rozprawy habilitacyjnej

Jak to stwierdzono powyżej tematyka rozprawy habilitacyjnej dotyczy dwóch bliskich sobie zagadnień. Po pierwsze, są to wszechstronne badania optyczne studni kwantowej w półprzewodniku InGaAs/GaAs. Oświetlenie takiego materiału światłem o energii większej niż przerwa wzbroniona powoduje wzbudzenia elektronów z pasma walencyjnego do pasma przewodnictwa, pozostawiając nośniki dziurowe w pasmie walencyjnym. Po procesach termalizacji elektronów (z emisją fononów) tworzą się ekscytony, triony i plazma nieoddziałujących elektronów i dziur. Ich udział w rekombinacji promienistej jest odzwierciedlony w widmie luminescencji. Druga grupa zagadnień wchodzących w skład rozprawy habilitacyjnej dr Jacka Szczytko dotyczy badań optycznych, a właściwie magnetooptycznych nanocząstek ferromagnetycznego kobaltu w zawiesinie dielektrycznej (cykloheksan). W tym przypadku wzbudzenia plazmy elektronowo-dziurowej są pewnego rodzaju analogiem plazmy elektronowo-dziurowej w półprzewodnikach. Zainteresowanie ferrocieczkami zawierającymi nanocząstki magnetycznego metalu w zawiesinie dielektrycznej reprezentują nowy obszar zainteresowań habilitanta. Łączy on tutaj zdobyte w początkowym okresie działalności badawczej (łącznie z doktoratem) wątki dotyczące magnetyzmu z udokumentowanym doświadczeniem w dziedzinie wszechstronnego stosowania technik optycznych i głębokiego zrozumienia mechanizmów fizycznych odpowiedzialnych za obserwowane efekty.

Dorobek organizacyjny, dydaktyczny i popularyzatorski.

Wysoko oceniam zaangażowanie i jego efekty w tych obszarach działalności dr Jacka Szczytko. Poniżej wspomnę tylko niektóre z nich.

Należy podkreślić udział J. Szczytko w przygotowaniu i prowadzeniu (jako przewodniczący) tzw. „przedszkola” czyli dwudniowych wykładów dla studentów i doktorantów poprzedzających „szkołę” międzynarodową Fizyki Półprzewodników „Jaszowiec”. Działalność ta trwała w latach 2005-2011. W tym czasie był członkiem Komitetu Organizacyjnego Międzynarodowej Szkoły i Konferencji Fizyki Półprzewodników „Jaszowiec”. Uczestnictwo w tych działaniach spowodowało nawiązanie szerokich kontaktów z wybitnymi uczonymi całego Świata. Jeśli chodzi o uczestnictwo w konferencjach międzynarodowych, to uważam, że było ono umiarkowanie aktywne i nie odzwierciedlało wagi osiągnięć naukowych. Dr J. Szczytko wygłosił jeden referat zaproszony na konferencji międzynarodowej i jeden na ważnej konferencji krajowej.

Jacek Szczytko ma niewątpliwe zasługi na polu zabiegów Wydziału Fizyki UW o zdobycie najnowocześniejszej aparatury naukowej. Warto odnotować sukcesy w tych działaniach. Np. spektrometr SQUID czy bogato wyposażone Laboratorium magneto-spektroskopii nanomateriałów (CEZAMAT), wzbogaciły bazę aparaturową Wydziału.

W latach 2007-2009 zorganizował studia *Inżynierii nanostruktur* I stopnia a w okresie 2009-2010 studia II stopnia. Sądzę, że ten wątek w działalności dr J. Szczytko w znacznym stopniu wpłynął na długość okresu pomiędzy obroną doktoratu i decyzją o przygotowaniu rozprawy habilitacyjnej.

Dużą aktywność dydaktyczną Habilitanta charakteryzuje również fakt przygotowania i prowadzenia kilku nowych wykładów na Uniwersytecie Warszawskim. Był promotorem pomocniczym jednej pracy doktorskiej, opiekunem dwóch doktorantów na Politechnice w Lozannie i opiekunem kilkunastu studentów UW realizujących prace licencjackie.

Imponuje również działalność popularyzatorska dr J. Szczytko. Od 2007 r. wygłosił ponad 60 wykładów popularnonaukowych.

Wnioski końcowe

Reasumując stwierdzam, że zawartość merytoryczna pracy habilitacyjnej (wg oświadczeń współautorów przypisana głównie Habilitantowi) i znaczący całkowity dorobek naukowy, poparty licznymi cytowaniami oraz osiągnięcia dydaktyczne i organizacyjne, są podstawą do uznania, że dr Jacek Szczytko ma pełne kwalifikacje do samodzielnej pracy naukowej. Jego wiedza i dotychczasowe doświadczenie badawcze oraz umiejętność stawiania problemów naukowych i ich rozwiązywania, uprawnia do sformułowania takiego wniosku. W trakcie swojej aktywnej działalności naukowej prace autorstwa Jacka Szczytko były cytowane 845 razy (bez autocytowań) a jego współczynnik Hirscha to 14. Warto zwrócić uwagę na następujący fakt. Praca: "Magnetic and optical properties of GaMnN magnetic semiconductor", której współautorem jest J. Szczytko, opublikowana w Applied Physics Letters, **78**, 1276 (2001), była cytowana 152 razy.

Stwierdzam więc, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa habilitacyjna przedstawia istotny wkład wyników uzyskanych przez dr Jacka Szczytko do fizyki ciała stałego. Uznaję, że spełnione zostały z nadmiarem wymagania określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Wniosuję o nadanie dr Jackowi Szczytko stopnia naukowego doktora habilitowanego.

Tadeusz Sułki