

dr hab. inż. Tomasz Chwiej
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej
Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie

**Ocena osiągnięcia naukowego, aktywności naukowej oraz działalności
dydaktycznej i organizacyjnej dr inż. Macieja Wołoszyna w postępowaniu o
nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego**

Dr inż. Maciej Wołoszyn uzyskał stopień magistra inżyniera w 2000 roku na Wydziale Fizyki i Techniki Jądrowej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie po czym rozpoczął on studia doktoranckie, które ukończył w 2005 roku broniąc pracę doktorską zatytułowaną "Badanie struktury elektronowej w nieuporządkowanych układach niskowymiarowych" wykonaną pod kierunkiem prof. dr hab. Andrzeja Maksymowicza. Po uzyskaniu stopnia doktora został zatrudniony na macierzystym wydziale początkowo na stanowisku asystenta (lata 2005-2006) a następnie na stanowisku adiunkta (lata 2006-).

Jako podstawę wniosku habilitacyjnego wskazał on osiągnięcie naukowe zatytułowane "Symulacje komputerowe transportu elektronowego w nanostrukturach niejednorodnych", które stanowi cykl ośmiu powiązanych tematycznie prac. Publikacje wchodzące w skład cyklu oznaczone są w autoreferacie dołączonym do wniosku jako H1-H8. Są to prace teoretyczne, a rozważany jest w nich wpływ niejednorodności potencjału w jednowymiarowych układach kwantowych na transport elektronowy. Wzmiankowana niejednorodność traktowana jest tu jako intencjonalne zaburzenie rozkładu potencjału uwięzienia wprowadzane do układu w postaci pojedynczej bariery tunelowej (prace H5, H6), układu dwóch barier (prace H4, H7, H8), aperiodycznego ciągu barier (prace H1, H2) lub stochastycznego rozkładu barier (praca H3) przy czym mogą one mieć charakter strukturalny lub materiałowy. Jak wspomniano prace H1-H8 są pracami teoretycznymi, a wyniki badań w nich przedstawione są efektem wykonanych głównie przez habilitanta symulacji numerycznych.

W dwóch pierwszych pracach cyklu (H1,H2) przeanalizowano własności stanów jednoelektronowych w układach jednowymiarowych zbudowanych z kilkudziesięciu studni oddzielonych barierami, w których złamana jest symetria translacyjna. W badanych nanostrukturach studnie kwantowe tworzą aperiodyczne zbiory opisywane ciągami Fibonacciego i Thue-Morse'a. Zainteresowanie własnościami układów charakteryzującymi się takim rozkładem potencjału wiążącego wynika z faktu, iż można go otrzymać według ściśle określonego algorytmu, dzięki czemu wyniki obliczeń numerycznych są powtarzalne. Założony rozkład potencjału można też łatwo wytworzyć w nanostrukturach półprzewodnikowych o geometrii planarnej np. w postaci jednowymiarowych supersieci lub w postaci jednowymiarowego łańcucha atomów, w którym miejsca po usuniętych atomach pełnią rolę barier potencjału. Ze względu na brak symetrii translacyjnej potencjału w kierunku transportu oraz możliwość pominięcia w opisie poprzecznych stopni swobody, mniej istotnych z punktu widzenia transportu elektronowego, układy tego typu są wykorzystywane w badaniach nad słabą lokalizacją. Problem lokalizacji elektronów przewodnictwa w układzie z nieporządkiem w postaci stochastycznie rozmieszczonych centrów rozpraszających analizowany jest w pracy H3.

W pracach H4, H5 i H7 badany jest wpływ rezonansów Starka na charakterystyki transportowe jednowymiarowych półprzewodnikowych drutów kwantowych, z wbudowaną pojedynczą lub podwójną barierą tunelową. Końce drutów połączone są z bramkami sterującymi, źródłem

i drenem. Prekursorami rezonansów Starka są stany kwazizwiązane w obszarze położonym pomiędzy silnie domieszkowanym obszarem, stanowiącym połączenie omówione nanourządzenia ze źródłem, a najbliższą mu barierą potencjału. W wyniku zmiany długości tego obszaru lub zmiany natężenia pola elektrycznego wynikającego z przyłożonej różnicy potencjałów pomiędzy źródłem a drenem, energia tych stanów może wzrosnąć na tyle, że po wejściu ich w obszar okna transportowego mogą się sprzęgać np. ze stanami rezonansowymi zlokalizowanymi w obszarze ograniczonym dwiema barierami co prowadzi do gwałtownego wzrostu współczynnika transmisji nośników ładunku. Cel badań tego typu rezonansów wynika oczywiście z chęci poznania ich wpływu na własności transportowe dla przytoczonych powyżej geometrii jedno i dwubarierowych układów jednowymiarowych opartych na półprzewodnikowych drutach kwantowych. Obecnie istnieją silne przesłanki ku temu, iż układy tego typu, klasyfikowane jako jednoelektronowe tranzystory polowe (układy jednobariery z dodatkową bramką sterującą), gdyż można w nich sterować przepływem pojedynczych elektronów, lub diody rezonansowo-tunelowe (układy dwubarierowe), znajdują zastosowanie w kolejnych generacjach układów scalonych produkowanych jako struktury trójwymiarowe. Wynika to z faktu, iż po odpowiednim dopracowaniu technologii ich wytwarzania, pozwolą one znacznie zwiększyć liczbę elementów w strukturze o tej samej powierzchni niż w przypadku obecnie stosowanych w mikroelektronice technologii planarnych, pozwolą także obniżyć ich energochłonność oraz, co równie istotne, materiały do ich wytwarzania poprzez tworzenie odpowiednich interfejsów podłoże-nanodrut będą kompatybilne ze stosowaną obecnie technologią wytwarzania układów opartych na krzemie. W tym kontekście, cel prowadzenia badań efektów kwantowych, które mogą istotnie wpływać na sposób sterowania przepływem pojedynczych nośników w układach rozważanych w pracach H4, H5, H7 (rezonanse Starka), w pracy H6 (odpowiednik jednoelektronowego tranzystora polowego), jak również w pracy H8 (wpływ warunków brzegowych na transport w układzie dwubarierowym) jest uzasadniony.

Ocena osiągnięcia naukowego oraz dorobku dydaktycznego, popularyzatorskiego i współpracy międzynarodowej habilitanta zamieszczone poniżej zostały sporządzone w oparciu o informacje zamieszczone przez habilitanta w autoreferacie zgodnie z wytycznymi zawartymi w rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dn. 1 września 2011 roku *w sprawie kryteriów oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego* (Dz. U. Nr 196, poz. 1165).

Ocena cyklu prac stanowiących osiągnięcie naukowe

W pracy H1 analizowane są nieklasyczne własności jednoelektronowych stanów kwantowych dla jednowymiarowego aperiodycznego łańcucha atomów miedzi opisywanych przy użyciu pseudopotencjału z uwzględnieniem pola elektrycznego. Pokazano, iż w wyniku zaburzenia symetrii translacyjnej pojedyncze szerokie pasmo energii rozdziela się na kilka podpasem tworząc strukturę charakterystyczną dla poziomów Wanniera-Starka, a poszczególne poziomy w podpasmach mogą ze sobą oddziaływać formując antykrossingi. Do analizy nieklasyczności stanów Wanniera-Starka, wykorzystano funkcję Wignera dzięki czemu możliwe było prześledzenie własności wybranych stanów tj. o energiach zbliżonych do energii Fermiego. Obliczenia wykonano stosując formalizm Wignera w przestrzeni położeniowo-pędowej co jest dość niekonwencjonalnym podejściem. Autorzy pracy, wykorzystując ścisły związek pomiędzy ujemnymi wartościami funkcji Wignera a wyrazem interferencyjnym będącym wynikiem superpozycji dwóch oddziałujących stanów pokazują, że wartość parametru nieklasyczności dla tych stanów w pobliżu antykrossingu podlega dużym zmianom tj. przyjmuje postać wyraźnego piku lub skoku w funkcji pola elektrycznego w zależności od przyjętej jednej z trzech zdefiniowanych w pracy miar

nieklasyczości pojedynczego stanu (dlatego nie wliczam tu całki z iloczynu funkcji Wignera dwóch stanów). Osiągnięciem jest w tym przypadku wykazanie, iż zastosowanie formalizmu funkcji Wignera pozwala w łatwy sposób wykrywać zmiany charakteru pojedynczego stanu kwantowego, np. w obszarze silnego oddziaływania z innymi stanami skutkującego formowaniem się antykrossingu, niezależnie od pozostałych stanów. Takie podejście może mieć duże znaczenie w analizie bardziej skomplikowanych widm energii zawierających dużą liczbę poziomów.

Praca H2 jest w pewnym sensie kontynuacją pracy H1 a zarazem jej rozszerzeniem. Jej autorzy, wykorzystując elementy wielowymiarowej analizy fraktalnej badają własności jednocząstkowych stanów zlokalizowanych dla potencjału zbudowanego w postaci aperiodycznego ciągu (Fibonacci) studni i barier, który można wytworzyć w wyniku naprzemiennego ułożenia na sobie dwóch materiałów półprzewodnikowych tworzących heterozłącze (w pracy wykorzystano $GaAs/AlGaAs$). Fluktuacje przestrzenne stanów własnych takiej supersieci mogą wykazywać samopodobieństwo co uzasadnia badanie zmian ich własności fraktalnych wywołanych czynnikiem zaburzającym np. słabym polem elektrycznym. Autorzy wskazują, iż nieliniowa dynamika zmian ułożenia poziomów w widmie energii, a wywołana zmianami zewnętrznego pola elektrycznego przyłożonego w kierunku wzrostu nanostruktury, jest skutkiem odpychania się poziomów co zmienia własności statystyczne funkcji falowych opisujących te stany. Analiza dokonana w pracy H2 bazuje na porównaniu zmian wartości współczynnika IPR (*inverse participation ratio*) w pobliżu antykrossingów, dla których przyjmuje on wartości minimalne, z wartościami współczynnika określającego wymiar fraktalny funkcji falowej $D_n(q)$, którego wartości wówczas rosną, a jego nieliniowa zmiana przy zmniejszaniu parametru q jednoznacznie wskazuje na wielofraktalny charakter funkcji falowych. Jak wykazano w pracy, wzrost wartości współczynnika D_n , wywołany np. zmianą pola elektrycznego, oznacza zwiększenie stopnia delokalizacji funkcji falowej, nie niszczy jednak jej wymiaru fraktalnego.

W pracy H3 przeprowadzono analizę dynamiki elektronów przewodnictwa w jednowymiarowym układzie ze stochastycznie rozmieszczonymi centrami rozpraszającymi. Ponownie wykorzystując formalizm Wignera, autorzy wykonali symulacje numeryczne propagacji pakietu falowego w przestrzeni fazowej wykorzystując równanie transportowe Moyala. Ponieważ dla określonego zestawu parametrów definiujących samą paczkę jak i nieporządek w rozważanym układzie, rozmycie przestrzenne paczki falowej jest mniejsze od średniej drogi swobodnej elektronów, spełnione jest kryterium Ioffego-Regela, wedle którego transport elektronów w obszarze dyfuzyjnym może być częściowo koherentny. Bazując na wynikach symulacji numerycznych autorzy pracy H3 pokazują, iż dla użytego (arbitralnie) zestawu parametrów, czas koherencji pędowej jest kilkukrotnie większy od średniego czasu pomiędzy kolejnymi zderzeniami w ośrodku nieuporządkowanym. Pomimo, iż rozważany jest transport w układzie nieuporządkowanym, zachowanie korelacji pędowej oznacza, że efekty interferencji kwantowej nadal są istotne, skutkiem czego obserwowany jest efekt słabej lokalizacji, a transport elektronowy odbywa się w obszarze *poddyfuzyjnym*. Jak już wspomniano, symulacje numeryczne wykonane zostały dla jednego zestawu parametrów, bez odnoszenia się do konkretnej realizacji praktycznej takiego układu, wyniki zamieszczone w pracy nie przedstawiają zatem wyników bardziej przekrojowych badań związanych z symulacjami transportu elektronowego w układach nieuporządkowanych. Należy tu jednak zwrócić uwagę na charakter czasopisma, w którym ukazała się praca (*Journal of Computational Electronics*), które jest ściśle ukierunkowane na prezentację możliwości opisywanej metody obliczeniowej czy też algorytmu, zatem prezentacja przykładowych wyników musi być w nim ograniczona do minimum.

Praca H4 jest pierwszą z prac, w których badane są rezonanse Starka. Rozważany jest w

niej układ, który stanowi drut kwantowy ($InAs$) z dwiema wbudowanymi barierami tunelowymi (InP) oraz trzy elektrody sterujące: źródło, dren oraz bramka otaczająca nanodrut w obszarze międzybarierowym. Autorzy pracy, bazując na teorii Landauera wyznaczyli charakterystyki prądowo-napięciowe oraz współczynnik transmisji dla układu. Obie wielkości charakteryzują kwaziokresowe zmiany ich wartości, które wywoływane są albo zmianą długości bufora albo zmianami napięć źródła-dren i bramki centralnej. Zgodnie z modelem teoretycznym przedstawionym w pracy, zmniejszanie długości lub głębokości studni formującej się w obszarze pomiędzy źródłem a najbliższą mu barierą, w której lokalizują się stany kwazizwiązane, powoduje podnoszenie odpowiadających im poziomów energii. Po ich wypchnięciu ze studni, stają się one stanami rezonansowymi Starka tj. gdy energia takiego stanu zrówna się z energią stanu kwazizwiązanego w obszarze ograniczonym dwiema barierami, wówczas obserwowany jest silny wzrost wartości współczynnika transmisji. Wyniki uzyskane w tym modelu, tj. położenia kolejnych pików współczynnika transmisji, autorzy pracy porównali z wynikami obliczeń uzyskanych metodą macierzy transferu, uzyskując bardzo dobrą ich zgodność.

W pracy H5 wyznaczone numerycznie zostały charakterystyki prądowo-napięciowe półprzewodnikowego drutu kwantowego z przewężeniem umieszczonym w jego centralnej części. Ze względu na zmianę geometrii potencjału uwięzienia w obszarze przewężenia, które w istocie stanowi rodzaj bariery tunelowej dla nośników, układ taki jest trójwymiarowym odpowiednikiem kwantowego kontaktu punktowego (QPC) stosowanego np. w badaniach własności dwuwymiarowego gazu elektronowego. Zmianę (wzrost) potencjału uwięzienia w drucie można też osiągnąć umieszczając dookoła centralnej jego części metalową elektrodę do której przyłożony jest ujemny potencjał, a zmiana tego potencjału pozwala zmieniać parametry bariery i aktywnie sterować przepływem pojedynczych nośników. Cecha ta jest sporym atutem tego typu układów. W pracy H5 uwzględniono pełną trójwymiarową geometrię układu, dlatego przedstawiony w niej model numeryczny jest bardziej rozbudowany niż ten użyty w pracy H4. Do wyznaczenia wartości prądu wykorzystano formułę Landauera-Büttikera, a obliczenia wykonano w przybliżeniu najniższego podpasma (brak rozpraszania międzypasmowego) dobierając odpowiednio niską energię Fermiego. Autorzy pracy pokazali, iż niezależnie od wielkości przyłożonego wzdłuż osi drutu pola magnetycznego, na charakterystyce prądowo-napięciowej mogą występować piki, które formują się, gdy stan rezonansowy Starka zlokalizowany przed przewężeniem/barierą wchodzi w obszar okna transportu w wyniku zmiany napięcia źródło-dren. Wyjaśnienie pochodzenia pików prądowych podane jest w pracy H5 wraz z nawiązaniem do wyników pracy H4, co w naturalny sposób łączy obie te prace. Pokazane w pracy H5 wyniki systematycznych badań wpływu parametrów geometrycznych przewężenia wskazują na istnienie napięcia progowego powyżej którego układ znajduje się w stanie aktywnym (przewodzenia), przy czym wielkością tego progu, jak zauważają autorzy pracy, można sterować za pomocą trzeciej bramki otaczającą centralną część drutu (tzw. all-around-gate). Efekt ten znany był już wcześniej, jednak wyniki zamieszczone w pracy H5 pokazują wpływ których parametrów jest tu kluczowy oraz jak w kombinacji ze zmianą pola magnetycznego modyfikują one widmo konduktancji różniczkowej. Ponieważ w użytych w pracy modelu nanodrutu uwzględniono wpływ na transport poprzecznych stopni swobody elektronu, przyłożenie pola w kierunku osi drutu w istotny sposób modyfikuje efektywny potencjał uwięzienia bocznego. W rezultacie, wzrost natężenia pola magnetycznego podnosi energię najniższego podpasma, co jak pokazano w pracy prowadzi do jego wypychania z okna transportu i w efekcie obniżenia wartości prądu.

W pracy H7 przedstawiono wyniki modelowania komputerowego transportu elektronowego w drucie kwantowym z GaN z dwiema barierami tunelowymi utworzonymi w wyniku domieszkowania materiału bazowego aluminium. Ze względu na istnienie silnego efektu spontanicznej

polaryzacji w azotku galu, na granicy heterozłącza $GaN/AlGaN$ może dojść do utworzenia studni potencjału, w których zlokalizowany zostaje ładunek oddziałujący z elektronami przewodnictwa. W pracy H7, oddziaływanie to uwzględniono stosując metodę funkcjonału gęstości w przybliżeniu LDA. Wyniki obliczeń wskazują, iż położenia maksimum współczynnika transmisji elektronów skorelowane są z położeniami stanów kwazizwiązanych w obszarze przedbarierowym (od strony źródła), które są prekursorami stanów rezonansowych Starka generowanymi zmianami napięcia źródło-dren. Oznacza to, że ładunek zlokalizowany w obszarze heterozłącza zmienia rozkład potencjału efektywnego, w którym poruszają się elektrony przewodnictwa, ale modyfikacja ta nie niszczy stanów rezonansowych. W pracy H7 pokazano również, że oprócz parametrów geometrycznych obszaru przedbarierowego czy wysokości bariery, istotną rolę w transporcie mogą odgrywać efekty korelacyjno-wymienne. Wskazują na to duże zmiany wartości współczynnika Fano otrzymane dla dwóch przypadków, przy uwzględnieniu oddziaływania korelacyjno-wymiennego oraz przy jego zaniedbaniu w obliczeniach DFT.

Praca H6 stanowi kontynuację badań własności transportu elektronowego w drucie kwantowym z przewężeniem. Nie jest ona jednak związana z analizą wpływu rezonansów Starka. Wykorzystano tu model teoretyczny użyty w pracy H5, przy czym rozszerzono go uwzględniając spin elektronów. Takie podejście spowodowane było zastąpieniem materiału drutu $InAs$ przez $InSb$, dla którego czynnik Landego jest o jeden rząd wielkości większy. W związku z tym rozsuniecie podpasm elektronów o przeciwnych spinach spowodowane efektem Zeemana może być istotnym czynnikiem wpływającym na transport elektronowy w przypadku użycia średniego lub silnego pola magnetycznego. Wyniki obliczeń numerycznych zamieszczone w pracy H6 pokazują, iż w obszarze przewężenia zmienia się efektywna szerokość przerwy zabronionej z powodu kwantowego efektu rozmiarowego. Zgodnie z teorią kp taki wzrost energii potencjalnej może powodować lokalną zmianę wartości czynnika Landego rzędu nawet 20%, co z kolei modyfikuje efektywną wysokość bariery potencjału w zależności od tego czy spin tunelującego przez barierę elektronu jest ustawiony zgodnie (wysokość bariery maleje) czy antyrównoległe (wysokość bariery rośnie) do kierunku pola magnetycznego ze względu na spinowy efekt Zeemana. W pracy H6 wyjaśniono wpływ tego efektu na magnetoopór badanego układu. W drutach z niewielkim przewężeniem, wzrost natężenia pola magnetycznego powoduje podnoszenie energii podpasma elektronu ze spinem skierowanym przeciwnie do pola, a gdy zaczyna on być wypychany powyżej poziomu energii Fermiego, magnetoopór rośnie. Natomiast w drutach z dużym przewężeniem, wzrost natężenia pola oznacza, iż z pary obu najniższych podpasm spinowych, które początkowo znajdują się powyżej poziomu energii Fermiego, dno podpasma elektronu ze spinem skierowanym równoległe do pola obniża się aż przetnie ten poziom od góry i w efekcie można zaobserwować spadek wartości magnetooporu. Autorzy pracy H6 wykazali zatem, iż badany układ może posłużyć jako filtr spinowy, a do określenia stopnia polaryzacji spinowej prądu można wykorzystać charakterystykę zmian magnetooporu.

Ostatnią pozycją w cyklu jest praca H8. Analizowany jest w niej wpływ procesów rozpraszania na transport elektronowy w kwazjednowymiarowym układzie dwubarierowym utworzonym na bazie heterozłącza $GaAs/AlGaAs$, który połączony jest z dwiema bramkami sterującymi. Rozważany układ stanowi w istocie model diody rezonansowo-tunelowej, której charakterystyka prądowo-napięciowa posiada maksimum o dużym stosunku wysokości pików do doliny. Ponieważ formowanie się takiego pików jest bezpośrednio związane z występowaniem stanów rezonansowych w obszarze międzybarierowym, które dla odpowiedniej różnicy napięć pomiędzy źródłem a drenem pojawiają się w oknie transportu, wszelkie procesy rozproszeniowe, zarówno w kontaktach jak i w domieszkowanych donorami kanałach łączących układ z bramkami oraz wewnątrz samego układu powinny wpływać na wysokość pików prądowych. Autorzy pracy wychodząc z

ogólnych rozważań dotyczących rozpraszania nieelastycznego elektronów typu elektron-elektron czy elektron-fonon, proponują modyfikację funkcji rozkładu w kontaktach tak aby uwzględniała ona również procesy rozpraszania. W standardowym podejściu używany jest rozkład Fermiego-Diraca elektronów swobodnych, natomiast w pracy H8 zastąpiony jest on jego splotem z funkcją wagową Lorentza, która stanowi odpowiednik funkcji spektralnej kontaktów przez co łatwo można powiązać jej parametry z czasem relaksacji uwzględniającym procesy rozpraszania. Modyfikowany rozkład Fermiego-Diraca stanowi warunek brzegowy dla równania kinetycznego funkcji Wignera, w którym również uwzględniony jest czas relaksacji związany z procesami rozproszeniowymi wewnątrz układu dwubarierowego oraz w kanałach łączących go z bramkami. Prezentowany model ma zatem charakter fenomenologiczny, z parametryzacją w postaci czasów relaksacji definiowanych oddzielnie dla każdej części rozważanego układu kwantowego. Wyniki obliczeń wskazują, iż sama modyfikacja funkcji rozkładu elektronów w kontaktach może prowadzić do zmiany wysokości pików prądowego na poziomie 10 – 20%. Podobnie destrukcyjny wpływ na wysokość pików prądowego ma rozpraszanie elektronów przewodnictwa na zjonizowanych domieszkach donorowych znajdujących się w obszarach łączących układ z bramkami (obszar złącza omowego). Wnioski płynące z pracy H8 są znaczące. Jednoznacznie wskazują one, iż użycie często stosowanych w obliczeniach tzw. bezodbićowych warunków brzegowych w modelowaniu transportu elektronowego rzeczywistych otwartych układów kwantowych może prowadzić do uzyskania niepoprawnych wyników. Tym samym zastosowanie proponowanej modyfikacji funkcji rozkładu, może stanowić częściowe rozwiązanie tego problemu, gdy wymagane jest np. uśrednianie współczynnika transmisji po energii w obliczeniach konduktancji czy prądu.

Podsumowując tę część oceny dorobku naukowego habilitanta, mogę stwierdzić iż prezentowane w cyklu prace H1-H8 są ze sobą powiązane tematycznie mimo iż poruszane jest w nich szerokie spektrum zagadnień związanych z wpływem niejednorodności potencjału na własności transportowe w układach jednowymiarowych. Większość prac stanowiących osiągnięcie naukowe została opublikowana w czasopiśmie o dobrych wartościach współczynnika oddziaływania (*impact factor*). Dwie prace, H1 i H8, wydano w *Physical Review B* (IF=3,47 i 3,81 wg roku wydania), H5 wydano w *Journal of Physics: Condensed Matter* (IF=2,34), H4 w *Journal of Applied Physics* (IF=2,185), H6 w *Physica E* (IF=2,22), H2 w *European Physical Journal B* (IF=1,28), H3 w *Journal of Computational Electronics* (IF=1,1), oraz H7 w *Physica Status Solidi - Rapid Research Letters* (IF=3,72). We wszystkich pracach cyklu, udział habilitanta był znaczący, a w większości z nich (poza H1 i H3) wręcz dominujący co potwierdzają oświadczenia pozostałych autorów prac H1-H8. Należy tu też podkreślić, iż w każdym przypadku habilitant aktywnie angażował się w prace na każdym etapie badań, począwszy od postawienia problemu, opracowania koncepcji jego rozwiązania, stworzenia modelu teoretycznego i numerycznego oraz ich implementacji komputerowej, wykonaniu obliczeń, analizie wyników, a skończywszy na udziale w przygotowaniu manuskryptów publikacji. Cztery prace są dwuautorskie, jedna ma trzech autorów, a trzy prace powstały w zespole czteroosobowym. W sześciu pracach nazwisko habilitanta pojawia się jako pierwsze na liście autorów, a w czterech jest on także autorem korespondującym. Tak silne zaangażowanie w prace kiluosobowych zespołów, których był członkiem świadczy o jego dużej samodzielności oraz sporej wiedzy i doświadczeniu w zakresie modelowania komputerowego transportu kwantowego w układach jednowymiarowych.

Ocena pozostałej działalności naukowej

Oprócz wymienionych w cyklu 8 publikacji, habilitant jest współautorem 30 innych prac wymienianych w bazie JCR (na dzień 30.10.2018), z czego aż 28 ukazało się po uzyskaniu doktoratu (2005 rok). Dodatkowo habilitant jest współautorem dwóch innych publikacji, które nie

są indeksowane w bazie JCR (prace 1 i 4 wymienione w pkt. 2.2.C w autoreferacie). Sumaryczny *impact factor* publikacji naukowych habilitanta wg bazy JCR wynosi 56,3; a publikacji wchodzących w skład cyklu 20,1. Liczba cytowań publikacji wg bazy Web of Science (WoS) na dzień 30.10.2018 to 131, w tym 74 bez autocytowań, a jego indeks Hirscha wynosi 6. Mimo iż przytoczone wyniki bibliometryczne nie są wysokie, w mojej opinii są na poziomie akceptowalnym. Docenić należy aktywny udział habilitanta w licznych konferencjach naukowych. Wyniki badań prezentował osobiście wygłaszając referaty na czterech konferencjach (w tym dwóch zagranicznych) oraz w postaci plakatów na 14 konferencjach, był także współautorem 27 innych posterów. Zazwyczaj prowadzenie aktywnej działalności naukowej wiąże się z wykonywaniem obowiązków recenzenta prac innych autorów. Zgodnie z informacjami podanymi przez habilitanta sporządził on osiem takich recenzji dla pięciu czasopism naukowych. W autoreferacie wymienia on jedynie dwa krótkie pobyty w zagranicznych ośrodkach naukowych. W 2006 roku przebywał na Uniwersytecie w Liege, natomiast w 2015 roku przebywał w Instytucie Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu w Regensburgu. Można jednak oczekiwać, iż w wyniku nawiązanej ostatnio przez niego współpracy międzynarodowej w ramach programu *European Cooperation in Science and Technology* w ramach grantu *Short Term Scientific Mission* obejmującego tematykę *Interdyscyplinarnych symulacji Monte Carlo* jego kontakty z ośrodkami zagranicznymi rozwiną się i będą silnie rzutować na dalszy rozwój naukowy. Zgodnie z informacjami zawartymi w autoreferacie, habilitant do tej pory nie kierował projektem badawczym, jednak był on wykonawcą dwóch grantów badawczych realizowanych odpowiednio w latach 2009-2011 (*co-researcher* w granie Fundacji Nauki Polskiej) oraz w latach 2012-2015 (jako główny wykonawca w granie finansowanym przez Narodowe Centrum Nauki).

Przytoczone dane, duża liczba publikacji i prezentacji konferencyjnych oraz udział w realizacji grantów i projektów naukowych świadczą, iż habilitant prowadzi intensywną działalność naukową. Jego aktywność na tym polu została doceniona przez rektora Akademii Górniczo-Hutniczej, który przyznał habilitantowi 7 nagród (drugiego i trzeciego stopnia) za osiągnięcia naukowe. Co więcej, spektrum zawodowych zainteresowań habilitanta ciągle się poszerza, z przeglądu publikacji spoza cyklu wynika, iż jest on współautorem m.in. prac związanych z modelowaniem transportu w nanodrutach o geometrii powłokowo-rdzeniowej czy z zakresu spintroniki, a ostatnio bierze udział w projekcie związanym z wykorzystaniem metod Monte Carlo w symulacjach transportu kwantowego. Ten zakres działalności habilitanta oceniam pozytywnie.

Ocena działalności w zakresie dydaktyki i popularyzacji nauki

W trakcie pracy na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, habilitant zdobył olbrzymie doświadczenie dydaktyczne. Przygotował i prowadził wykłady, ćwiczenia rachunkowe i/lub laboratoryjne dla studentów AGH w ramach kursów: *Physics I/II* oraz *Programowanie obiektowe I/II*. Prowadził także seminarium z *Matematycznych Metod Fizyki* w ramach kursu organizowanego dla doktorantów fizyki. Ponadto zaangażowany był w prowadzenie zajęć laboratoryjnych w ramach innych kursów prowadzonych na macierzystym wydziale takich jak: *Język C++*, *Programowanie Proceduralne*, *Inżynierskie Metody Numeryczne*, *Komputerowe Symulacje Numeryczne*, *Podstawy Informatyki*, *System Unix*. O jego silnym zaangażowaniu w pracę dydaktyczną na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej świadczy również fakt iż pod jego opieką powstało 15 prac magisterskich i 27 prac inżynierskich, a obecnie pełni funkcję promotora pomocniczego w przewodzie doktorskim. Oprócz prowadzenia działalności dydaktycznej habilitant udziela się także w komisjach wydziałowych związanych bezpośrednio z dydaktyką, a mianowicie był członkiem *Zespołu ds. Jakości Kształcenia* a obecnie jest współopiekunem kierunku studiów *Informatyka Stosowana*. Habilitant ma też pewne

dokonania na polu popularyzowania nauki, mianowicie deklaruje on członkostwo w Polskim Towarzystwie Fizycznym, a w latach 2006 i 2008 wchodził w skład komitetu organizacyjnego *Ogólnopolskiego Konkursu na Doświadczenie Pokazowe z Fizyki* realizowanego przez PTF.

Z przytoczonej powyżej krótkiej analizy działalności habilitanta w zakresie dydaktyki, wyłania się obraz osoby silnie zaangażowanej w procesie dydaktycznym realizowanym na uczelni, a która ma w tym zakresie spore osiągnięcia (samodzielnie przygotowane kursy, sprawowanie merytorycznej opieki nad studentami w trakcie realizacji prac magisterskich i inżynierskich oraz sprawowanie funkcji promotora pomocniczego w doktoracie). Dlatego również i ten zakres działalności habilitanta oceniam pozytywnie.

Podsumowanie

Biorąc pod uwagę formalne kryteria oceny wniosku habilitacyjnego stwierdzam, iż osiągnięcie naukowe "Symulacje komputerowe transportu elektronowego w nanostrukturach niejednorodnych" będące podstawą wniosku habilitacyjnego dr inż. Macieja Wołoszyna oraz jego pozostały dorobek naukowy, dydaktyczny i organizacyjny spełniają ustawowe wymagania. W związku z powyższym, popieram wniosek dr inż. Macieja Wołoszyna o nadanie mu stopnia doktora habilitowanego w dyscyplinie fizyka i wnoszę o dopuszczenie go do dalszego etapu postępowania habilitacyjnego.

Kraków, dn. 02.11.18

Tomasz Duraj