Recenzja wniosku habilitacyjnego dra Alessandro Surrente
na potrzeby procedury nadania stopnia doktora hablitowanego

Dr Alessandro Surrente jest absolwentem Politechniki Turyńskiej, którą ukończył w 2007 roku pracą magisterską zatytułowaną „Optical gain measurements of Vertical-Cavity Surface Emitting Lasers (VCSELs)" wykonaną pod kierunkiem prof. Ivo Montrosseta. Studia doktoranckie odbył na EPFL w Lozannie, gdzie pod kierunkiem prof. Eli Kapona przygotował rozprawę doktorską na temat „Epitaxial growth and optical properties of dense arrays of pyramidal quantum dots." W rezultacie habilitant otrzymał stopień doktora w 2013 roku. Po uzyskaniu doktoratu odbył szereg staży podoktorskich. W latach 2014-15 przebywał w Laboratorium Fotoniki i Nanostruktur, CNRS, Marcoussis, Francja, a następnie w latach 2015-2019 w Narodowym Laboratorium Wysokich Pól Magnetycznych, CNRS, Tuluza, Francja. Kolejne dwa lata spędził na Uniwersytecie Sapienza w Rzymie, gdzie ulokowany był otrzymany przez niego grant programu Marie Curie, a od 2020 roku jest zatrudniony na stanowisku adiunkta naukowego na Politechnice Wrocławskiej.

Podstawą wniosku o nadanie dr. Alessandro Surrente stopnia naukowego doktora habilitowanego jest zbiór siedmiu wieloautorskich publikacji, które ukazały się w latach 2016-2018. Tematyka praz obejmujące osiągnięcie Autora jest spójna i obejmuje własności ekscytonów w różnych rodzajach materiałów półprzewodnikowych, które stanowią bardzo aktywnie rozwijany na świecie obszar badań materiałowych i fizyki ciała stałego. Habilitant w pracach wchodzących w skład osiągnięcia naukowego badał półprzewodniki objętościowe (perowskity) oraz dwuwymiarowe obejmujące czarny fosfor oraz wybrane dichalkogenki metali przejściowych. Wszystkie prace są wieloautorskie (6-12 współautorów), a we wszystkich za wyjątkiem jednej dr Alessandro Surrente jest pierwszym autorem lub współdzieli tą pozycję (najprawdopodobniej z doktorantami, którzy realizowali część pracy pod jego opieką). Publikacje ukazały się we wiodących czasopismach takich jak Nano Letters (IF 11), ACS Energy Letters (IF 23), Journal of Physical Chemistry Letters (IF 6,5) oraz Physical Review B (IF 4,3). O docenieniu tych prac przez środowisko naukowe najlepiej świadczy fakt, iż były cytowane ponad 450 razy. Wkład habilitanta w oceniane dzieła jest w sposób szczegółowy przedstawiony w autoreferacie oraz oświadczeniach współautorów i pozwala bardzo precyzyjnie ocenić rolę, jaką dr Alessandro Surrente pełnił każdorazowo. Niewątpliwie bardzo znacząco przyczynił się do zainicjowania oraz wykonania badań, spełniając wymaganie istotnego wkładu we włączone publikacje w osiągnięcie.

Obiektem badań opisanych w habilitacyjnym cyklu publikacyjnym są ekscytony w półprzewodnikach. Nadrzędnym celem habilitanta było zbadanie własności ekscytonów, tj. kwasi-cząstek zbudowanych ze skorelowanej przestrzennie pary elektron-dziura w wyniku oddziaływanie kulombowskiego, we współcześnie (bardzo aktywnie) badanych materiałach

dr hab. Tomasz J. Antosiewicz
Uniwersytet Warszawski
Wydział Fizyki
Pasteura 5
02-093 Warszawa

półprzewodnikowych typu perowskit oraz półprzewodnikach warstwowych. Potencjał kulombowski jest jednym z istotnych czynników determinujący własności ekscytonów, określając stany ekscytonowe i energię wiązania. Istotnymi parametrami determinującymi te wielkości są masy efektywne ładunków oraz efektywna stała dielektryczna określająca ekranowanie oddziaływania kulombowskiego ekscytonu. Precyzyjne wyznaczenie wydajności ekranowania jest kluczowe do opisu, ale dla pewnych typów materiałów jest wyzwaniem nietrywialnym. Może to wynikać z np. sprzężenia pomiędzy nośnikami ładunku a drganiami sieci krystalicznej bądź strukturą przestrzenną danego materiału/próbki, jak w przypadku materiałów warstwowych. Tego typu rozważania nad efektami ekscytonowymi w półprzewodnikach jest kluczowe w opracowaniu różnego rodzaju urządzeń optoelektronicznych bazujących na ekscytonach. Wśród przykładów można wymienić ogniwa słoneczne, różnego rodzaju diody czy detektory i źródła pojedynczych fotonów – zatem badania podstawowe na zagadnieniami ekscytonowymi są istotne. Tematyka niniejszego osiągnięcia habilitacyjnego jest rozwijana w pracach 1-2 w układach perowskitów, następnie w publikacjach 3-4 w warstwowym czarnym fosforze, a finalnie w pracach 5-7 w warstwowych dichalkogenkach metali przejściowych.

W pracach 1 i 2 przedmiotem badań są ekscytony w perowskitach $MAPbI_3$ i $CsPbX_3$. Autor zastosował technikę spektroskopii w silnych polach magnetycznych, które modyfikują energie przejść ekscytonowych prowadząc do liniowego rozszczepienia przez efekt Zeemana i przesunięcia z kwadratem pola magnetycznego. Dzięki tej metodzie można dokładnie wyznaczyć parametry ekscytonów – energię wiązania i masę zredukowaną. W pracy 1 udowodnił przydatność ww. metody to badań tych materiałów i pokazał, że własności ekscytonów w $MAPbI_3$ nie zależą od struktury krystalicznej materiału (w 4 K) – zarówno w jednorodnym krysztale jak i cienkich warstwach o różnej strukturze ziaren krystalicznych energia wiązania jest stała, a zatem oddziaływanie kulombowskie w $MAPbI_3$ nie jest czułe na strukturę krystaliczną. Zależy ono jednak od fazy materiału i fazie tetragonalnej (w wyższej temperaturze) energia wiązania maleje. Badania na perowskitami były kontynuowane w pracy 2. W materiałach typu $CsPbX_3$ (X= I, Br, oraz ich stop), tj. perowskitach nieorganicznych, habilitant powiązał własności eksctyonów z wartością przerwy energetycznej. W pomiarach pokazał zwiększenie energii przejścia ekscytonowego, a zatem i przerwy energetycznej, z temperaturą.

W kolejnych dwóch pracach tematem przewodnim były ekscytony w czarnym fosforze, tj. warstwowym półprzewodniku, który w owym czasie był materiałem trudnym z zbadania z uwagi na dużą reaktywność chemiczną. Pierwszym istotnym osiągnięciem Autora było przezwyciężenie problemu stabilności materiału ze pomocą wysokiej próżni, której zaletą był brak modyfikacji własności czarnego fosforu przez enkapsulację w innych materiałach. To podejście umożliwiło pomiary tej samej próbki różnymi metodami badawczymi pozwalającym

dr hab. Tomasz J. Antosiewicz
Uniwersytet Warszawski
Wydział Fizyki
Pasteura 5
02-093 Warszawa

na określenie zarówno struktury jak i własności optycznych i wzajemne powiązanie. W pierwszej kolejności habilitant bezspornie pokazał wpływ ekranowania podłoża na widmo luminescencji, a anizotropowa struktura czarnego fosforu powoduje wysoki stopień polaryzacji emitowanego światła. Pomiar luminescencji w funkcji natężenia światła pobudzającego udowodnił stabilność próbek, a także liniowość natężenia emisji w niskim i średnim zakresie mocy świadcząc o procesie rekombinacji jednej pary elektron-dziura. Z kolei dla wysokiego natężenia zaobserwowano nasycenie oraz brak obecności kompleksów biekscytonowych. Luminescencja w funkcji temperatury przesuwa się w wyższe energie, co nie jest typowym zjawiskiem. Pomiary dra Alessandro Surrente posłużyły stworzeniu mikroskopowego modelu tego efektu, który wynika z istotnego wkładu anharmonicznego, związanego z rozszerzalnością cieplną sieci, do przesunięcia pasma wzbronionego. Z kolei spadek intensywności luminescencji z temperaturą jest powodowany termiczną aktywacją niepromienistej rekombinacji. Prace nad czarnym fosforem były kontynuowane w pracy 4 metodami pompa-sonda i doprowadziły do poznania dynamiki nośników, w szczególności oddziaływań wielodziałowych w układach ekscytonów. Najciekawszym wynikiem tych prac jest hipoteza o bimolekularnej naturze anihilacji typu ekscyton-ekscyton, w którym to procesie energia jednego ekscytonu podczas niepromienistej rekombinacji jest przekazywana drugiemu, który z kolei sam termalizuje. Proces ten może być uważany za ekscytonowy odpowiednik procesu Augera.

Cykl prac jest zakończony studiami nad dichalkogenkami metali przejściowych (TMD) opisanymi w publikacjach 5-7. Tą część badań dr Alessandro Surrente rozpoczyna od innowacyjnego rozwiązania problemu związanego z niską jakością TMD otrzymanych metodami chemicznego osadzania z fazy gazowej (CVD). Niska jakość związana jest z obecnością bardzo dużej ilości stanów defektowych. Pomysłem habilitanta było wytworzenie trójwarstwy, w której zewnętrznym materiałem było MoS_2, a wewnętrzną $MoSe_2$. Mimo, iż wszystkie trzy warstwy były wykonane metodą CVD, widmo luminescencji uległo istotnej poprawie, tak że zaobserwowano wyraźne linie emisyjne swobodnego i naładowanego ekscytonu $MoSe_2$. Stało się to dzięki wypełnieniu wakansów selenowych przez atomy siarki. Innym ciekawym wynikiem pracy 5 jest obserwacja emisji częściowo spolaryzowanej fluorescencji ekscytonów $MoSe_2$ w wyniku transferu ekscytonów pobudzonych w MoS_2.

W pracy 6 dr Alessandro Surrente kontynuuje badania nad heterostrukturą $MoS_2/MoSe_2$, skupiając się na mechanizmach prowadzących do ustalenia polaryzacji dolinowej ekscytonów międzywarstwowych. Korzystając z pomiarów spektroskopowych fotoluminescencji w polu magnetycznym zauważył znaczne rozszczepienie Zeemana oraz redukcję intensywności jednego z tych poziomów – dla pól magnetycznych powyżej 20 T luminescencja jest niemal całkowicie spolaryzowana kołowo prawoskrętnie, niezależnie od polaryzacji lasera pobudzającego, za wyjątkiem małych pól kiedy to obserwowano nieznaczne

dr hab. Tomasz J. Antosiewicz
Uniwersytet Warszawski
Wydział Fizyki
Pasteura 5
02-093 Warszawa

różnice. Istotnym wkładem habilitanta jest zaproponowanie modelu relaksacji ekscytonów w tym układzie, dzięki czemu określił ich dynamikę w polu magnetycznym. W ostatniej pracy, kontynuując temat heterostruktury $MoS_2/MoSe_2$, habilitant zmierzył się z wewnątrzwarstwowymi ekscytonami mory, których własności zależą od wzajemnego obrotu warstw TMD. Wykorzystując spektroskopię przestrzennie rozdzielczą zaobserwował przestrzenną modulację wysokoenergetycznej części widma fluorescencji, która skorelowana jest z obecnością heterowarstwy oraz względnym kątem obrotu monowarstw.

Moja ocena całego cyklu publikacji przedstawionych do oceny jest pozytywna. Prace te wnoszą istotny wkład do fizyki ekscytonów półprzewodnikowych, przedstawiając oryginalne, nieznane wcześniej wyniki oraz nowatorskie elementy przygotowania materiałów do charakteryzacji. Jest on bardzo dobrym eksperymentalistą, który potrafi zaplanować, przygotować oraz wykonać zaawansowane pomiary, a także potrafi przekazać swoje umiejętności młodszym kolegom i koleżankom, który pod jego kierunkiem wykonywali badania. Wyniki pomiarów zostały przez habilitanta bardzo dobrze opracowane, a postawione przez niego hipotezy dotyczące mechanizmów były potwierdzane przez innych badaczy w pracach teoretycznych.

Oprócz przedstawionego cyklu publikacji, dorobek naukowy dra Alessandro Surrente jest imponujący i obejmuje 42 artykuły (według Scopus na dzień 30.06.2022). Jeszcze przed otrzymaniem stopnia doktora był współautorem 7 publikacji na temat kropek kwantowych, przy czym pięciokrotnie był pierwszym autorem. Krótki staż podoktorski w Laboratorium Fotoniki i Nanostruktur w Marcoussis zaowocował dwoma publikacjami na temat rezonatorów optomechanicznych. Najowocniejszym okresem był staż w Laboratorium Wysokich Pól Magnetycznych w Tuluzie w grupie prof. Pauliny Płochockiej, z którą współpracuje do chwili obecnej (sądząc po najnowszych artykułach). Rezultatem tej współpracy są w sumie 33 (wg Scopus) publikacje z tematyki własności ekscytonów w półprzewodnikach o różnej wymiarowości. Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia habilitacyjnego dra Alessandro Surrente powstały właśnie w okresie tego stażu podoktorskiego. Ostatnim etapem aktywności zagranicznej był staż na Uniwersytecie Sapienza w Rzymie finansowany z indywidualnego stypendium Marie Curie, w trakcie którego habilitant badał właściwości wibracyjne naprężonych obszarów warstw hBN. W bieżącym roku ukazał się pierwszy artykuł obejmujący tą tematykę. Niestety nie można określić wkładu habilitanta w pozostałe prace, za wyjątkiem domniemania, że w przypadku bycia pierwszym autorem jego wkład był istotny. W 2020 roku dr Alessandro Surrente powrócił formalnie do aktywnej współpracy z prof. Pauliną Płochocką w ramach uzyskanego przez nią grantu NCN ulokowanego na Politechnice Wrocławskiej.

Dr Alessandro Surrente obecnie (od 2021) kieruje grantem SONATA 16 przyznanym przez Narodowe Centrum Nauki a także był laureatem programu Marie Curie. Oprócz tego

dr hab. Tomasz J. Antosiewicz
Uniwersytet Warszawski
Wydział Fizyki
Pasteura 5
02-093 Warszawa

pracuje jako wykonawca przy realizacji jednego grantu NCN OPUS, a w latach 2021-22 uzyskał stypendium dla wizytującego profesora w Laboratorium Wysokich Pól Magnetycznych w Tuluzie.

Habilitant w większości miejsc, w których pracował, angażował się w nauczanie studentów jak i doktorantów. W Laboratorium Fotoniki i Nanostruktur był współpromotorem dwóch prac magisterskich oraz jednej pracy doktorskiej. W Laboratorium Wysokich Pól Magnetycznych był współpromotorem dwóch doktorantów, którzy pod jego kierunkiem wykonywali, między innymi, część badań wchodzących w skład osiągnięcia habilitacyjnego. Na Politechnice Wrocławskiej był promotorem jednej pracy magisterskiej. W toku swojej kariery jeszcze jako doktorant prowadził szereg zajęć (ćwiczeń) dla grup 25 studentów z fizyki ogólnej oraz przygotowywania indywidualnych zadań badawczych. W Rzymie prowadził zajęcia z pracowni fizycznej przygotowując dla studentów zadania badawcze. Na Politechnice Wrocławskiej od 2020 roku prowadzi ćwiczenia oraz zajęcia laboratoryjne z fizyki ogólnej. Posiada więc przyzwoite doświadczenie pedagogiczne.

Biorąc pod uwagę powyższe, w mojej opinii dr Alessandro Surrente spełnia ustawowe i zwyczajowe wymogi stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora habilitowanego. Jest dojrzałym fizykiem i wysokiej klasy specjalistą w swojej dziedzinie. Z pełnym przekonaniem rekomenduję Komisji pozytywne rozpatrzenie Jego wniosku, a Radzie Naukowej Dyscypliny Nauki Fizyczne Politechniki Wrocławskiej nadania stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie Nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie Nauki Fizyczne.

Tomasz Antosiewicz

Tomasz J. Antosiewicz

dr hab. Tomasz J. Antosiewicz
Uniwersytet Warszawski
Wydział Fizyki
Pasteura 5
02-093 Warszawa