

Warszawa 27.04.2026 r.

Uniwersytet Warszawski

Prof. Jakub Tworzydło

+48-225532919; jakub.tworzydlo@fuw.edu.pl

ulica Pasteura 5, 02-093 Warszawa, Polska



Recenzja osiągnięcia naukowego oraz aktywności naukowo-badawczej
doktor Aliny Mreńcy-Kolasińskiej
w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego nauk fizycznych.

Kandydatka, dr inż. Alina Mreńca-Kolasińska, jest absolwentką Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH w Krakowie. W 2013 roku uzyskała tytuł magistra inżyniera na AGH, pracując pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Bartłomiej Szafran. Stopień doktora nauk fizycznych uzyskała w 2017 roku na tej samej uczelni. Jej rozprawa dotyczyła symulacji transportu kwantowego w układach grafenowych i nosiła tytuł „*Simulations of quantum transport in graphene systems with n-p junctions*”. Promotorem pracy był również prof. Bartłomiej Szafran. Przebieg edukacji i wczesnych etapów drogi badawczej kandydatki oceniam jako wzorcowy i w pełni terminowy.

Kariera zawodowa Kandydatki jest ściśle związana z macierzystym wydziałem AGH. Przeszła tam kolejne szczeble od asystenta badawczego do adiunkta. Obecnie zajmowane stanowisko adiunkta objęła w roku 2019. Ponadto, w latach 2020–2022 przebywała na Tajwanie, pracując naukowo jako „Research Fellow” w National Cheng Kung University (NCKU). Współpracę wtedy zapoczątkowaną kontynuuje z powodzeniem do dziś. Świadczy o tym goszczenie doktoranta z Tajwanu w Krakowie oraz kolejne, bardzo dobre, wspólne publikacje. Doświadczenie zdobyte przez kandydatkę w czołowych ośrodkach zagranicznych niewątpliwie wzbogaciło jej warsztat badawczy i poszerzyło zainteresowania naukowe.

Kandydatka wykazuje wyjątkową skuteczność w pozyskiwaniu finansowania na badania. Była kierownikiem prestiżowych projektów NCN: Etiuda oraz najnowszego grantu Sonata 20. Realizowała także własny „pakiet habilitacyjny” w ramach programu IDUB. Brała udział jako wykonawca w licznych grantach typu OPUS oraz w Diamentowym Grantcie. Taki dorobek dobitnie potwierdza jej ugruntowaną pozycję w systemie konkursowym. Dokumentuje też ewolucję od roli wykonawcy do lidera własnych zamierzeń naukowych.

Oddźwięk badań kandydatki w środowisku międzynarodowym jest znaczący. Wskaźniki

bibliometryczne są solidne. Odnotowano 249 cytowań, a indeks Hirscha wynosi 10. Na szczególną uwagę zasługuje bardzo intensywna aktywność recenzencka. Dr Mreńca-Kolasińska oceniała prace dla prestiżowych tytułów takich jak Nature Communications jak również dla licznych, wiodących w dziedzinie tytułów, takich jak Physical Review B czy New Journal of Physics. Dowodzi to uznania dla jej eksperckich kompetencji w skali międzynarodowej. Lista odbytych staży i wizyt typu „visiting scholar” dodatkowo potwierdza silną obecność kandydatki na arenie międzynarodowej.

Charakterystyka osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę wniosku habilitacyjnego.

Głównym osiągnięciem naukowym dr inż. Aliny Mreńcy-Kolasińskiej jest cykl sześciu powiązanych tematycznie artykułów pod wspólnym tytułem: „*Manipulacja ładunkiem, spinem i doliną w nanostrukturach na bazie grafenu*”. Osiągnięcie to oceniam jako uderzająco spójne. Kandydatka koncentruje się na fundamentalnych własnościach fizycznych układów niskowymiarowych, takich jak transport elektronowy, mapowanie gęstości stanów oraz przewodności. Wybór obiektów badań świadczy o doskonałym wyczuciu trendów w fizyce materii skondensowanej. Analizie poddano nie tylko klasyczny grafen, ale także układy o wyższym stopniu złożoności: dwuwarstwy skręcone pod dużym kątem, struktury kapsułowane w azotku boru czy układy z bramkowaniem przy pomocy nanorurek węglowych. Taka selekcja materiałów dowodzi merytorycznej odwagi i biegłości w poruszaniu się na froncie współczesnych badań nanotechnologicznych.

Wartość naukowa publikacji wchodzących w skład cyklu jest znakomita. Dr inż. Mreńca-Kolasińska publikuje w czasopismach o najwyższym światowym prestiżu. Trzykrotna obecność w *Physical Review B* oraz publikacje w *npj 2D Materials and Applications* i *2D Materials* budują obraz badaczki o ugruntowanej renomie. Na szczególną uwagę zasługuje praca w *ACS Nano* (IF 16), która stanowi dowód na przynależność do światowej elity naukowej. We wszystkich sześciu pracach udział Kandydatki był kluczowy i rzetelnie udokumentowany. W trzech artykułach pełni ona rolę pierwszego autora. Co istotne, jedynie najstarsza praca z cyklu [H1] powstała we współpracy z promotorem doktoratu. Pozostałe publikacje są owocem współpracy z prestiżowymi grupami zagranicznymi. Stwierdzam z pełnym przekonaniem, że dr inż. Mreńca-Kolasińska wypracowała pełną samodzielność naukową.

Merytoryczny wkład Kandydatki wykracza poza ramy standardowych symulacji. Jej prace łączą wyrafinowane techniki numeryczne typu *state-of-the-art* z intrygującymi przewidywaniami, które znajdują bezpośrednie potwierdzenie w eksperymencie. Doskonałym przykładem jest praca [H6]. Choć dr inż. Mreńca-Kolasińska figuruje w niej jako drugi autor, to była tam jedynym teoretykiem. To ona stworzyła fundament modelowy dla całego zespołu eksperymentalnego. Taka konfiguracja autorska dobitnie podkreśla jej pozycję jako eksperta, od którego zależy interpretacja złożonych zjawisk fizycznych, w tym przypadku pól pseudomagnetycznych wywołanych naprężeniami. Kandydatka we wszystkich pracach brała czynny udział w obliczeniach, analizie wyników oraz redagowaniu manuskryptów. Również wysoka jakość naukowa jej autoreferatu potwierdza dojrzałość w klarownym komunikowaniu skomplikowanych problemów badawczych.

Podsumowując warstwę formalną, oceniam, że przedstawiony cykl publikacyjny w pełni wypełnia ustawowe wymogi stawiane osiągnięciu habilitacyjnemu. Jest to dorobek spójny, autorski i mający bezsporny wpływ na rozwój dziedziny. Badania Kandydatki stanowią istotny krok w stronę praktycznej manipulacji stopniami swobody fermionów Diraca. To fundament pod przyszłe urządzenia spintroniczne i dolinowe, co czyni to osiągnięcie przykładem nowoczesnej fizyki teoretycznej o dużym potencjale aplikacyjnym.

Opis i ocena merytoryczna badań ujętych w osiągnięciu

Motywacje fizyczne stojące za badaniami dr inż. Aliny Mreńcy-Kolasińskiej są klarowne i głęboko osadzone w problematyce współczesnej nanoelektroniki. Kandydatka stawia sobie za cel precyzyjną kontrolę fundamentalnych stopni swobody nośników w grafenie: ładunku, spinu oraz doliny. Jest to cel ambitny. Wpisuje się on bezspornie w nurt poszukiwań nowych paradygmatów przetwarzania informacji, wykraczających poza tradycyjną elektronikę krzemową. Cele badawcze sformułowane w autoreferacie są sprecyzowane i logicznie powiązane. Metody badawcze, łączące zaawansowane modelowanie teoretyczne (od równania Diraca po model ciasnego wiązania) z analizą transportu, są wzorcowo dobrane do skali problemów. Stwierdzam z pełnym przekonaniem, że cele te są zbieżne z najnowocześniejszymi badaniami w fizyce grafenu na świecie. Stanowią one spójny fundament dla całego cyklu, co bezpośrednio wynika z charakterystyki osiągnięcia przedstawionej w poprzednim rozdziale.

Praca [H1] koncentruje się na wykorzystaniu oddziaływania spin-orbita indukowanego w grafenie przez podłoże z dichalkogenu metalu przejściowego (WSe₂). Głównym wyzwaniem podjętym przez Kandydatkę było zaprojektowanie urządzeń spinowo-aktywnych, takich jak kropki kwantowe i pierścienie, które mogą pełnić funkcję strojonych filtrów spinowych. Dr inż. Mreńca-Kolasińska postawiła sobie za zadanie teoretyczne wyznaczenie stanów stacjonarnych uwięzionych w tych nanostrukturach. Zastosowała do tego celu rzetelne podejście: model atomistyczny ciasnego wiązania oraz równanie Diraca. Takie zestawienie metod pozwoliło na precyzyjny opis fizyki zjawisk przy zachowaniu wglądu w analityczną strukturę rozwiązań. Oceniam to podejście jako metodologicznie dojrzałe i wartościowe.

Kandydatka rozwiązała w pracy [H1] problem transportu spinowego dla układów połączonych z elektrodami w formie nanowstążek grafenowych. Wykazała, że kropki i pierścienie połączone z nanowstążkami o krawędziach typu *zigzag* działają przy niskich polach magnetycznych jako efektywne filtry spinowe. Udowodniła też, że parametry układu można łatwo kontrolować w sposób przestrajalny. Jest to wynik interesujący, stanowi teoretyczną bazę do konstrukcji urządzeń wykorzystujących spin jako nośnik informacji.

Praca [H2] przynosi badanie układu dwuwarstwowego grafenu skrzywionego pod dużym kątem (tBLG). Zjawiskiem fizycznym kluczowym dla tego obiektu jest elektroniczne rozprężenie warstw, któremu towarzyszy silne sprzężenie pojemnościowe wynikające z ich bliskości przestrzennej. Głównym wyzwaniem podjętym przez Kandydatkę było skonstruowanie spójnego opisu elektrostatyki takich struktur. Dr inż. Mreńca-Kolasińska opracowała i wdrożyła samouzgodniony model pojemności kwantowej. Następnie uogólniła ten formalizm na układy w

skończonym polu magnetycznym oraz na skręcone podwójne dwuwarstwy grafenowe. Oceniam to przedsięwzięcie jako metodycznie wyrafinowane, dowodzi biegłości autorki w budowaniu realistycznych i złożonych modeli teoretycznych.

Wyniki przedstawione w publikacji **[H2]** są bardzo interesujące. Kandydatka zweryfikowała siłę sprzężenia pojemnościowego poprzez analizę przewodnictwa, wykazując wzorcową zgodność swoich symulacji z niezależnymi danymi eksperymentalnymi. Przedstawiła propozycję nowego doświadczenia, w którym efekt rozprężenia warstw służy do indukcji ogromnej, przestrajalnej przerwy energetycznej przy pomocy stosunkowo niskiego napięcia polaryzującego. Opracowany przez Kandydatkę model ma charakter podstawowy i jest dość uniwersalny. Jego potencjał wykracza poza układy czysto węglowe, wskazuje nowy obszar badań nad materiałami dwuwymiarowymi sprzężonymi kwantowo-pojemnościowo.

Praca **[H3]** przenosi analizę na grunt optyki elektronowej w grafenie. Wykorzystano w niej fakt, że relacja dyspersji w tym materiale wykazuje silne podobieństwo do dyspersji fotonów. Pozwala to na bezpośrednie analogie do zjawisk znanych z optyki klasycznej. Głównym zagadnieniem fizycznym było przestrzenne modulowanie gęstości nośników za pomocą zewnętrznych bramek w celu ukształtowania falowodów elektronowych, działających na zasadzie zbliżonej do światłowodów. Do precyzyjnego bramkowania elektrostatycznego i tworzenia lokalnego uwięzienia w złączach bipolarnych zastosowano nanorurki węglowe (CNT). Taka specyficzna architektura układu wymusza propagację nośników wzdłuż ściśle określonych, nielicznych modów poprzecznych.

Wyniki przeprowadzonych w **[H3]** badań dowodzą, że falowody indukowane przez potencjał nanorurek węglowych pozwalają na uzyskanie bardzo ostrych schodków przewodnictwa. Stanowi to potwierdzenie stabilnego reżimu transportu kwantowego. W artykule zidentyfikowano i zaproponowano szereg konkretnych aplikacji dla badanych struktur. Obejmują one układy interferometrów do obserwacji efektu Aharonowa-Bohma oraz punktowe źródła wstrzykiwania ładunku do grafenu. Przedstawione rozwiązanie charakteryzuje się dużą elastycznością. Zaproponowany mechanizm bramkowania może zostać z powodzeniem rozszerzony na dwuwarstwowy grafen z ułożeniem Bernala, układy skręcone oraz inne realizacje dwuwymiarowego gazu elektronowego. Dowodzi to wszechstronności nanorurek węglowych jako narzędzia do precyzyjnej manipulacji trajektoriami elektronów.

Praca **[H4]** porusza wysoce złożony problem periodycznej modulacji potencjału w grafenie. Zjawisko to prowadzi do fundamentalnej przebudowy struktury pasmowej i powstawania tak zwanych minipasm. W obecności zewnętrznego pola magnetycznego generuje ono z kolei fraktalne widmo energetyczne, znane jako motyl Hofstadtera. Głównym celem badawczym Kandydatki była dogłębna analiza transportu kwantowego w indukowanych elektrostatycznie, dwuwymiarowych supersieciach o symetrii kwadratowej. Wybór układów z przestrajalną siłą modulacji oceniam jako naukowo odważny i stawiający wysokie wymagania warsztatowe. Dr inż. Mreńca-Kolasińska zastosowała rzetelne modelowanie numeryczne, konfrontując je z wynikami modelu ciągłego. Takie zestawienie pozwoliło na bezpośrednie powiązanie dynamiki nośników z subtelnymi detalami zmodyfikowanej struktury pasmowej.

Uzyskane wyniki w [H4] dostarczają pogłębionego wglądu w fizykę układów silnie zależnych od efektów geometrii próbek. W reżimie słabych pól magnetycznych Kandydatka skutecznie modelowała zjawisko poprzecznego ogniskowania magnetycznego. Udowodniła, że technika transportu balistycznego pozwala na skuteczne mapowanie zasięgu minipasm oraz precyzyjną identyfikację typu nośników. Z kolei dla silnych pól magnetycznych obliczenia oporu wielosondowego pozwalają na rekonstrukcję złożonego widma motyla Hofstadtera. Stwierdzam z pełnym przekonaniem, że opracowany przez badaczkę protokół modelowania dostarcza użytecznego narzędzia teoretycznego, pozwalającego na analizę zupełnie nowych geometrii supersieci materiałów dwuwymiarowych.

Praca [H5] prezentuje nowe narzędzie do symulacji transportu kwantowego w dwuwarstwowym grafenie z ułożeniem Bernala (BLG). Osiągnięciem technicznym w tym artykule jest sformułowanie czteropasmowego, efektywnego modelu opartego na sieci kwadratowej. Model ten powstał w wyniku dyskretyzacji równania ciągłego, zachowując mapowanie obu dolin z oryginalnej, heksagonalnej strefy Brillouina. Skuteczność tego formalizmu zweryfikowano poprzez bezpośrednie odtworzenie wyników wcześniejszych eksperymentów transportowych. Obejmują one: kwantowy efekt Halla, poprzeczne ogniskowanie magnetyczne, zjawisko przejścia od tunelowania anty-Kleina do Kleina oraz efekt Aharonowa-Bohma. Opracowana metoda dostarcza wydajnej platformy obliczeniowej, której zastosowanie może zostać naturalnie rozszerzone na modelowanie innych materiałów dwuwymiarowych o sieci heksagonalnej.

Praca [H6] stanowi w moim przekonaniu najjaśniejszy punkt recenzowanego osiągnięcia. Publikacja w elitarnym czasopiśmie *ACS Nano* bezspornie pozycjonuje te badania w ścisłej, światowej czołówce. Autorzy podjęli niezwykle trudne wyzwanie badawcze, jakim jest praktyczne generowanie i kontrolowanie pól pseudomagnetycznych (PMF) w grafenie poprzez wykorzystanie naprężeń termicznych. Rola dr inż. Mreńcy-Kolasińskiej w tym przedsięwzięciu była absolutnie kluczowa. Jako jedyny badacz o profilu teoretycznym w zespole, wzięła ona na siebie całkowitą odpowiedzialność za rygorystyczne modelowanie fizyki badanego układu. Opracowała zaawansowane symulacje oparte na metodzie elementów skończonych oraz obliczenia transportu kwantowego. To właśnie jej warsztat numeryczny dostarczył niezbędnych ram pojęciowych do weryfikacji i zrozumienia wyników eksperymentalnych.

Uzyskane rezultaty oceniam jako imponujące i przełomowe. Teoretyczny wkład Kandydatki pozwolił na precyzyjną interpretację złożonych dudnień w oscylacjach Shubnikova–de Haasa. Dzięki jej obliczeniom, skorelowanym z danymi z transportu elektrycznego, udowodniono jednoznacznie obecność pola pseudomagnetycznego rzędu 0.1–0.2 T w próbkach z kapsułowanym grafenem. Zaproponowana nietypowa geometria pomiaru magnetooporu (EMR) wykazała niespotykaną dotąd elastyczność w sterowaniu wielkością i rozkładem naprężeń. Stwierdzam z pełnym przekonaniem, że praca ta wyznacza nowe, niezwykle obiecujące kierunki badań. Przeprowadzone modelowanie dostarcza świeżej motywacji do poszukiwania nowych urządzeń dla strain-troniki oraz dolino-troniki.

Pozostałe elementy oceny dorobku kandydatki

Poza głównym osiągnięciem habilitacyjnym dr inż. Alina Mreńca-Kolasińska wykazuje bardzo dużą aktywność publikacyjną w obszarach pokrewnych tematycznie. Jej dorobek poza cyklem obejmuje łącznie 26 artykułów naukowych. Dziesięć z nich powstało przed uzyskaniem stopnia doktora, natomiast aż 16 opublikowano już po obronie doktoratu. Sumarycznie cały dorobek Kandydatki to 32 prace w czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Publikuje ona regularnie w wiodących tytułach, takich jak *Physical Review B*, *2D Materials*, a także w prestiżowym *Physical Review Letters*. Wysoka i utrzymująca się systematycznie od czasu doktoratu aktywność badawcza zasługuje na wysoką ocenę; świadczy ona o rzetelności zawodowej i niesłabnącej dynamice pracy naukowej.

Widoczność międzynarodowa Kandydatki jest wyraźna i udokumentowana. Dr inż. Mreńca-Kolasińska aktywnie uczestniczy w obiegu informacji naukowej poprzez wystąpienia konferencyjne. Jej bilans to 8 referatów ustnych na zjazdach międzynarodowych oraz 11 prezentacji posterowych. Szczególnym potwierdzeniem pozycji ekspertki są trzy zaproszenia do wygłoszenia seminariów w uznanych ośrodkach zagranicznych, m.in. na National Cheng Kung University na Tajwanie oraz na Uniwersytecie w Regensburgu. Dane te traktuję jako obiektywny dowód na rozpoznawalność jej nazwiska w światowym środowisku fizyków zajmujących się nanostrukturami węglowymi.

Kandydatka z dużym zaangażowaniem kształci nową kadrę naukową. Pełni funkcję promotora pomocniczego w przewodzie doktorskim, co dowodzi zaufania do jej kompetencji merytorycznych. W ciągu ostatnich kilku lat dr inż. Mreńca-Kolasińska objęła opieką merytoryczną aż 13 projektów inżynierskich i dyplomowych na AGH. Tematyka tych prac, obejmująca m.in. modelowanie pakietów falowych czy symulacje płynów, jest ściśle powiązana z jej specjalizacją. Ponadto prowadzi ona specjalistyczne zajęcia z metod obliczeniowych dla studentów Fizyki Technicznej, Informatyki Stosowanej, i Nanoinżynierii Materiałowej. Jest to działalność dydaktyczna prowadzona rzetelnie i z pewnością bardzo korzystna dla jej macierzystego Wydziału.

Uzupełnieniem sylwetki Kandydatki jest jej aktywność organizacyjna i recenzencka. Dr inż. Mreńca-Kolasińska regularnie opiniuje prace dla prestiżowych czasopism z listy filadelfijskiej, w tym dla *Nanotechnology*, *Physical Review B* oraz *New Journal of Physics*. Pełnienie roli recenzenta w tak uznanych redakcjach potwierdza jej ekspercki status. W wymiarze instytucjonalnym Kandydatka angażuje się w życie akademickie jako członkini Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne AGH. Stwierdzam z pełnym przekonaniem, że dr inż. Mreńca-Kolasińska jest dojrzałym i aktywnym członkiem społeczności naukowej, wywiązującym się wzorcowo ze wszystkich ról przypisanych samodzielnemu pracownikowi nauki.

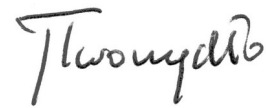
Podsumowanie i konkluzja

Przedstawiona w powyższej recenzji analiza pozwala na sformułowanie jednoznacznie pozytywnej oceny dorobku dr inż. Aliny Mreńcy-Kolasińskiej. Główne osiągnięcie naukowe pod tytułem „*Manipulacja ładunkiem, spinem i doliną w nanostrukturach na bazie grafenu*” stanowi istotny i merytorycznie dojrzały wkład w rozwój fizyki mezoskopowej. Wyniki opublikowane w tak prestiżowych czasopismach jak *ACS Nano* czy *2D Materials* dobitnie potwierdzają ich wysoką

jakość oraz pełną zgodność ze światowymi standardami badawczymi.

Kandydatka wykazała się bezsporną samodzielnością naukową. Za bardzo dobry i ważący wynik uważam uzyskanie oraz skuteczne kierowanie prestiżowym grantem Sonata 20. Droga zawodowa dr inż. Mreńcy-Kolasińskiej po uzyskaniu stopnia doktora cechuje się wzorcową dynamiką i jest bardzo wartościowa. Aktywność międzynarodowa Kandydatki, w tym długoterminowy staż badawczy na Tajwanie, pozwoliła jej na wypracowanie rozpoznawalnego profilu naukowego. Jej kompetencje są rzetelnie udokumentowane i uznawane przez społeczność międzynarodową, co potwierdza regularna aktywność recenzencka dla czołowych czasopism specjalistycznych.

Biorąc pod uwagę wszystkie aspekty ocenianego dorobku, stwierdzam z pełnym przekonaniem, że dr inż. Alina Mreńca-Kolasińska spełnia wymagania ustawowe do nadania stopnia naukowego doktora habilitowanego. W mojej ocenie spełnione zostały wszystkie warunki określone w art. 219 ust. 1 pkt 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Z dużą satysfakcją rekomenduję Radzie Dyscypliny dopuszczenie Kandydatki do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.



Warszawa, 27.04.2026 r.