

Prof. dr hab. Piotr Perlin
Instytut Wysokich Ciśnień Polskiej Akademii Nauk
Ul. Sokołowska 29/37, 01-142 Warszawa

Recenzja osiągnięcia naukowego oraz aktywności naukowej dr. Tomasza Jakubczyka w postępowaniu habilitacyjnym w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, w dyscyplinie nauki fizyczne

Podstawą sporządzenia recenzji była uchwała Komisji Habilitacyjnej powołanej do przeprowadzenia postępowania habilitacyjnego dr. Tomasza Jakubczyka oraz dokumentacji przedłożonej przez Habilitanta, obejmującej w szczególności autoreferat, cykl publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe, wykaz dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego.

W tej recenzji oceniam osiągnięcie naukowe zatytułowane „**Postępy w tworzeniu i badaniu koherencji optycznej w układach ciała stałego**”, przedstawione w formie cyklu ośmiu publikacji naukowych, wymienionych poniżej

TJ1. Q. Mermillod, **T. Jakubczyk**, V. Delmonte, A. Delga, E. Peinke, J. M. Gérard, J. Claudon, and J. Kasprzak,
Harvesting, Coupling, and Control of Single-Exciton Coherences in Photonic Waveguiding Antennas, *Phys. Rev. Lett.* **116**, 163903 (2016).

TJ2. **T. Jakubczyk**, V. Delmonte, S. Fischbach, D. Wigger, D. E. Reiter, Q. Mermillod, P. Schnauber, A. Kaganskiy, J.-H. Schulze, A. Strittmatter, S. Rodt, W. Langbein, T. Kuhn, S. Reitzenstein, and J. Kasprzak,
Impact of Phonons on Dephasing of Individual Excitons in Deterministic Quantum Dot Microlenses, *ACS Photonics* **3**, 2461 (2016).

TJ3. J. Kasprzak, D. Wigger, T. Hahn, **T. Jakubczyk**, L. Zinkiewicz, P. Machnikowski, T. Kuhn, J.-F. Motte, and W. Pacuski,
Coherent Dynamics of a Single Mn-Doped Quantum Dot Revealed by Four-Wave Mixing Spectroscopy, *ACS Photonics* **9**, 1033–1041 (2022).

TJ4. **T. Jakubczyk**, V. Delmonte, M. Koperski, K. Nogajewski, C. Faugeras, W. Langbein, M. Potemski, and J. Kasprzak,
Radiatively Limited Dephasing and Exciton Dynamics in MoSe₂ Monolayers Revealed with Four-Wave Mixing Microscopy, *Nano Lett.* **16**, 5333 (2016).

TJ5. **T. Jakubczyk**, G. Nayak, J. Serpelloni, W.-L. Liu, S. Dubey, N. Bendiab, I. Marty, T. Taniguchi, K. Watanabe, F. Masia, G. Noguès, J. Coraux, W. Langbein, J. Renard, V. Bouchiat, and J. Kasprzak,
Coherence and Density Dynamics of Excitons in a Single-Layer MoS₂ Reaching the Homogeneous Limit, *ACS Nano* **13**, 3500–3511 (2019).

TJ6. **T. Jakubczyk**, K. Nogajewski, M. R. Molas, M. Bartos, W. Langbein, M. Potemski, and J. Kasprzak,

Impact of Environment on Dynamics of Exciton Complexes in a WS₂ Monolayer, **2D Mater.** **5**, 31007 (2018).

TJ7. V. Yurgens, J. A. Zuber, S. Flagan, M. De Luca, B. J. Shields, I. Zardo, P. Maletinsky, R. J. Warburton, and **T. Jakubczyk**, *Low-Charge-Noise Nitrogen-Vacancy Centers in Diamond Created Using Laser Writing with a Solid-Immersion Lens*, **ACS Photonics** **8**, 1726 (2021).

TJ8. N. Dalla, P. Kulboka, M. Kobecki, J. Misiak, P. Prystawko, H. Turski, P. Kossacki, and **T. Jakubczyk**, *Off-Resonant Photoluminescence Spectroscopy of High-Optical-Quality Single-Photon Emitters in GaN*, **Solid State Commun.** **397**, 115845 (2025).

Publikacje tworzące „osiągnięcie” były napisane w latach 2016-2025.

Wykształcenie i kariera naukowa habilitanta

Pan dr Tomasz Jakubczyk ukończył studia na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, uzyskując w 2009 roku tytuł magistra na podstawie pracy pt. „Wpływ środowiska fotonicznego na spontaniczną emisję światła z kropek kwantowych”, przygotowanej pod kierunkiem prof. Jana Gaja. W latach 2009–2014 prowadził badania naukowe w Laboratorium Ultraszybkiej Magneto-spektroskopii na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego pod opieką prof. Piotra Kossackiego i prof. Jana Gaja, a także w Semiconductor Epitaxy Group kierowanej przez prof. Detlefa Hommela Instytucie Fizyki Ciała Stałego na Uniwersytecie w Bremie. W 2014 roku uzyskał stopień doktora nauk fizycznych w ramach międzynarodowego przewodu doktorskiego typu „cotutelle”. Rozprawa doktorska, wyróżniona oceną summa cum laude, poświęcona była wpływowi ograniczenia fotonicznego na emisję z kropek kwantowych CdTe. Promotorami pracy byli prof. Piotr Kossacki z Uniwersytetu Warszawskiego oraz prof. Detlef Hommel z Uniwersytetu w Bremie. Jego praca doktorska została w roku 2014 wyróżniona nagrodą premiera RP. Bezpośrednio po uzyskaniu stopnia doktora dr Tomasz Jakubczyk odbył staż podoktorski w Instytucie Néela CNRS w Grenoble, uczestnicząc w realizacji projektu finansowanego przez European Research Council (ERC Starting Grant). W latach 2017–2020 prowadził badania na Uniwersytecie w Bazylei jako stypendysta programu Marie Skłodowska-Curie Actions. W 2020 roku powrócił do Polski, obejmując stanowisko adiunkta na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego i kierując projektem w ramach programu NAWA „Powroty”. Od 2024 roku jest zatrudniony na stanowisku adiunkta na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

3. Ocena osiągnięcia habilitacyjnego

Przedstawiona rozprawa opisuje wyniki zebrane w 8 publikacjach wieloautorskich. Pan dr. Jakubczyk jest pierwszym autorem 4 z tych prac, drugim autorem w trzech i trzecim autorem w jednej z prac. Siedem prac jest publikowanych w czasopismach o wysokim współczynniku wpływu 8-18 (Physical Review Letters, ACS Nano, Nano Letters, ACS Photonics (3 publikacje), 2D Materials) i jedna Solid State Communications które jest czasopismem o dobrej opinii i z długą historią. Poniżej, prezentowany jest współczynnik wpływu czasopism i

liczba cytowani (Google Scholar). Chciałbym zwrócić uwagę na szczególnie wysokie cytowania prac, w których doktor Jakubczyk jest pierwszym autorem (TJ2, TJ4, TJ5, TJ6). Wszystkie są cytowane ponad 50 razy a TJ4 ponad 200 razy.

Nr	Publikacja	Czasopismo	IF (2023/24)	Cytowania (Goggle Scholar)
TJ1	Q. Mermillod, T. Jakubczyk i in., <i>Harvesting, Coupling, and Control of Single-Exciton Coherences in Photonic Waveguide Antennas</i> , 2016	Physical Review Letters	8.6	32
TJ2	T. Jakubczyk i in., <i>Impact of Phonons on Dephasing of Individual Excitons in Deterministic Quantum Dot Microlenses</i> , 2016	ACS Photonics	7.7	52
TJ3	J. Kasprzak, T. Jakubczyk i in., <i>Coherent Dynamics of a Single Mn-Doped Quantum Dot Revealed by Four-Wave Mixing</i> , 2022	ACS Photonics	7.7	7
TJ4	T. Jakubczyk i in., <i>Radiatively Limited Dephasing and Exciton Dynamics in MoSe₂ Monolayers Revealed with Four-Wave Mixing Microscopy</i> , 2016	Nano Letters	10.8	233
TJ5	T. Jakubczyk i in., <i>Coherence and Density Dynamics of Excitons in a Single-Layer MoSe₂ Reaching the Homogeneous Limit</i> , 2019	ACS Nano	18.0	61
TJ6	T. Jakubczyk i in., <i>Impact of Environment on Dynamics of Excitons in WS₂ Monolayer – 2D Matter</i> , 2018	2D Materials	3.9	66
TJ7	V. Yurgens, T. Jakubczyk i in., <i>Low-Charge-Noise Nitrogen-Vacancy Centers in Diamond Created Using Laser Writing with a Solid-Immersion Lens</i> , 2021	ACS Photonics	7.7	55
TJ8	N. Dalla, P. Kolobek, T. Jakubczyk i in., <i>Off-Resonant Photoluminescence Spectroscopy of High-Optical-Quality Single-Photon Emitters in GaN</i> , 2025	Solid State Communications	2.4	0

Przedstawione jako osiągnięcie habilitacyjne prace są blisko związane tematycznie, aczkolwiek dotyczą różnych systemów kwantowych. Badania dr. Jakubczyka koncentrują się na własnościach (głównie koherencji) stanów kwantowych kropek kwantowych, ekscytonów w systemach dwuwymiarowych oraz centrów barwnych (defektów zero-wymiarowych) w diamencie i azotku galu. Centralną metodą badawczą jest spektroskopia mieszania czterech fal (FWM), która oprócz czułości na fazę układu cechuje się doskonałą rozdzielczością przestrzenną. Autor zwykle wyznacza czasy dekoherencji układu oraz czasy życia nośników, dyskutując fizyczne mechanizmy utraty spójności przez dany układ. Systemy badane przez habilitanta są bez wyjątku istotne dla rozwijanych obecnie przyrządów i systemów kwantowych, w tym emiterów pojedynczych fotonów oraz par splątanych fotonów.

Poniżej krótkie omówienie prac wchodzących do Rozprawy.

TJ1. Q. Mermillod, T. Jakubczyk i in., *Harvesting, Coupling, and Control of Single-Exciton Coherences in Photonic Waveguide Antennas*, 2016

Artykuł przedstawia nową metodę badania ekscytonów w samoorganizujących się kropkach kwantowych InAs, wykorzystującą foniczne anteny falowodowe (tzw. *photonic trumpets*). Autorzy pokazują, że odpowiednio zaprojektowany falowód dielektryczny zwiększa czułość detekcji sygnału nieliniowego typu four-wave mixing (FWM) nawet o cztery rzędy wielkości w porównaniu z kropką kwantową umieszczoną w materiale objętościowym. Dzięki temu możliwe staje się precyzyjne badanie koherencji pojedynczych ekscytonów, ich czasów dekoherencji oraz dynamiki rekombinacji. W pracy wyznaczono czasy koherencji i życia ekscytonów oraz wykazano, że głównym źródłem utraty koherencji są fluktuacje ładunku powodujące tzw. *spectral wandering* (losowe fluktuacje energii przejścia optycznego). Szczególnie istotnym wynikiem jest eksperymentalna obserwacja koherentnego sprzężenia Förstera pomiędzy dwiema przestrzennie rozdzielonymi kropkami kwantowymi, ujawnionego dzięki dwuwymiarowej spektroskopii FWM. Praca demonstrowa, że szerokopasmowe anteny falowodowe stanowią bardzo efektywne narzędzie do koherentnej spektroskopii pojedynczych kropek kwantowych. Otwiera to drogę do realizacji bardziej złożonych eksperymentów z zakresu optyki kwantowej, takich jak kontrola oddziaływań między emiterami, wielobarwna spektroskopia nieliniowa czy implementacja operacji na kubitach ekscytonowych.

TJ. 2 T. Jakubczyk i in., *Impact of Phonons on Dephasing of Individual Excitons in Deterministic Quantum Dot Microlenses*, 2016

W pracy zbadano wpływ fononów akustycznych na utratę koherencji ekscytonów w samoorganizujących się kropkach kwantowych InAs, umieszczonych deterministycznie w mikrosoczewkach wykonanych metodą litografii elektronowej *in situ*. Zastosowanie mikrosoczewek znacząco zwiększyło efektywność wzbudzania i zbierania światła, umożliwiając wykonanie spektroskopii mieszania czterech fal (four-wave mixing, FWM) z bardzo wysokim stosunkiem sygnału do szumu. Pomiar wykazały, że w niskich temperaturach czas koherencji ekscytonu jest bliski granicy wyznaczonej przez czas życia promienistego, natomiast wraz ze wzrostem temperatury szybko maleje wskutek oddziaływania z fononami akustycznymi. Szczególnie istotnym zjawiskiem jest bardzo szybka, rzędu kilku pikosekund, utrata koherencji po wzbudzeniu, związana z formowaniem polaronu. Efekt ten odpowiada za pojawienie się szerokiego tła fononowego w widmach fotoluminescencji. Wyniki eksperymentalne zostały ilościowo opisane modelem niezależnych bozonów, uwzględniającym realistyczną geometrię kropek kwantowych. Model jednocześnie dobrze odtwarza dynamikę zaniku koherencji, udział linii zero fononowej oraz kształt widm fotoluminescencji. Praca tworzy spójny obraz mechanizmów dekoherencji ekscytonów i ma istotne znaczenie dla projektowania wydajnych źródeł pojedynczych fotonów.

TJ3 J. Kasprzak, **T. Jakubczyk** i in., *Coherent Dynamics of a Single Mn-Doped Quantum Dot Revealed by Four-Wave Mixing*, 2022

W pracy przedstawiono badania koherencji ekscytonów w kropkach kwantowych CdTe, zarówno niedomieszkowanych, jak i zawierających pojedynczy jon manganu (Mn^{2+}), z wykorzystaniem spektroskopii mieszania czterech fal (FWM). Dzięki umieszczeniu kropek kwantowych w rezonatorze Braggowskim oraz zastosowaniu soczewki immersyjnej uzyskano znaczne wzmocnienie sprzężenia światła z materią, co umożliwiło precyzyjne pomiary czasu życia, dekoherencji oraz oddziaływań ekscyton–fonon i ekscyton–spin. Dla kropek niedomieszkowanych zaobserwowano echo fotonowe, oscylacje Rabiego, dekoherencję fononową oraz oscylacje wynikające z rozszczepienia poziomów ekscytonu. Wyznaczono parametry układu, takie jak czas życia ekscytonu, jednorodne i niejednorodne poszerzenie linii oraz rozszczepienie subtelnej struktury. W przypadku kropek zawierających pojedynczy jon Mn^{2+} oddziaływanie wymienne ekscytonu z momentem magnetycznym manganu prowadzi do powstania sześciu linii widmowych odpowiadających różnym orientacjom spinu jonu. Fluktuacje spinu Mn powodują dodatkową dekoherencję i charakterystyczne oscylacje sygnału FWM, dobrze odtworzone przez model teoretyczny uwzględniający dyskretną strukturę poziomów spinowych. Praca stanowi (pierwszą?) eksperymentalną demonstrację zastosowania spektroskopii FWM do badania pojedynczych kropek kwantowych domieszkowanych jonami magnetycznymi i otwiera drogę do realizacji koherentnych interfejsów spin–foton, istotnych dla przyszłych technologii kwantowych.

TJ4. **T. Jakubczyk** i in., *Radiatively Limited Dephasing and Exciton Dynamics in MoSe₂ Monolayers Revealed with Four-Wave Mixing Microscopy*, 2016

Autorzy pracy przedstawiają badania monowarstw MoSe₂ metodą mikrospektroskopii mieszania czterech fal (FWM), która umożliwia jednoczesny pomiar dynamiki koherencji (czas dekoherencji T_2) i populacji (czas życia radiacyjnego T_1) ekscytonów. W temperaturze 6 K zaobserwowano czasy T_2 i T_1 rzędu poniżej pikosekundy, przy czym $T_2 \approx 2T_1$, co wskazuje, że dekoherencja ograniczona jest głównie procesami radiacyjnymi (a nie rozpraszaniem na fononach czy defektach). Dzięki wysokiej rozdzielczości przestrzennej techniki (poniżej granicy dyfrakcji) wykazano, że zarówno T_2 , jak i T_1 zależą od lokalnego nieporządku strukturalnego próbki, zmieniającego się w skali submikrometrowej. Zbadano też wpływ temperatury na dekoherencję – wzrost temperatury przyspiesza utratę koherencji na skutek oddziaływania z fononami akustycznymi i optycznymi. Obrazowanie hyperspektralne (z pomiarem widma) pozwoliło rozróżnić obszary próbki zdominowane przez neutralny ekscyton (EX) i naładowany trion (TR); na granicy tych obszarów zaobserwowano oscylacje (dudnienia) w sygnale koherencji wynikające z sprzężenia ekscyton–trion. Stosując wzbudzenie spolaryzowane kołowo, autorzy zbadali dynamikę międzydolinową – stwierdzili początkową polaryzację doliny na poziomie ok. 30%, zanikającą w ciągu kilku pikosekund. Praca dostarcza więc kompleksowego obrazu ultraszybkiej dynamiki ekscytonów w MoSe₂, istotnego dla przyszłych zastosowań.

TJ5. T. Jakubczyk i in., *Coherence and Density Dynamics of Excitons in a Single-Layer MoSe₂ Reaching the Homogeneous Limit*, 2019

Praca opisuje badania koherencji i dynamiki gęstości ekscytonów w monowarstwach MoSe₂ zamkniętych między warstwami heksagonalnego azotku boru (h-BN), tworzącymi heterostrukture h-BN/MoSe₂/h-BN. Autorzy wykorzystują mikroskopową wersję techniki mieszania czterech fal (FWM), aby rozdzielić wkład jednorodnego (γ) i niejednorodnego (σ) poszerzenia linii ekscytonowej – co jest kluczowe, bo w nie enkapsulowanym MoSe₂ poszerzenie niejednorodne (σ) zwykle maskuje własności wewnętrzne ekscytonów. Zbadano dwie próbki różniące się stopniem nieporządku: w bardziej nieuporządkowanej próbce A zaobserwowano formowanie się echa fotonowego i silną korelację między amplitudą sygnału a σ . W mniej nieuporządkowanej próbce B osiągnięto tzw. granicę jednorodną – sygnał FWM przyjmuje formę czystego zaniku bez echa fotonowego, co dowodzi niemal całkowitego wyeliminowania nieporządku. Zmierzono także zależność poszerzenia jednorodnego od temperatury (wpływ fononów akustycznych i optycznych) oraz od gęstości ekscytonów (poszerzenie wywołane oddziaływaniem ekscyton–ekscyton). W skali nanosekundowej, korzystając z czułości fazowej techniki heterodynowej, zidentyfikowano trzy główne kanały relaksacji: szybki rozpad radiacyjny, przejście do stanów ciemnych oraz powolny rozpad opisany prawem potęgowym przypisywany rozpraszaniu tri-ekscytonowemu. Wyniki pokazują, że enkapsulacja h-BN drastycznie poprawia jakość optyczną MoSe₂, umożliwiając precyzyjne badanie wewnętrznej fizyki ekscytonów (oscylator siły, dynamika dolinowa) w materiałach dwuwymiarowych. TJ6.

TJ6 T. Jakubczyk i in., *Impact of Environment on Dynamics of Excitons in WS₂ Monolayer – 2D Matter*, 2018

W pracy zbadano wpływ lokalnego otoczenia na dynamikę ekscytonów i trionów w monowarstwie WS₂ z wykorzystaniem mikroskopii FWM, umożliwiającej pomiary koherencji i relaksacji z rozdzielczością przestrzenną rzędu 300 nm oraz rozdzielczością czasową poniżej 1 ps. Wykazano, że czas dekoherencji ekscytonów zależy od lokalnego nieuporządkowania, temperatury oraz oddziaływań z fononami. W obszarach o niewielkim nieuporządkowaniu i w niskiej temperaturze osiągnięto warunki dekoherencji ograniczonej wyłącznie przez rekombinację promienistą, co świadczy o wyjątkowo silnym sprzężeniu światła z ekscytonami. Mapowanie próbki ujawniło ścisłą korelację między lokalnym poszerzeniem niejednorodnym, czasem dekoherencji i siłą oscylatora. Autorzy pokazali, że lokalne naprężenia oraz fluktuacje potencjału decydują o lokalizacji ekscytonów i ich własnościach optycznych. Zidentyfikowano również dwa rodzaje trionów ujemnych – między-dolinowe i wewnątrz-dolinowe – oraz zaobserwowano oscylacje kwantowe wynikające z ich koherentnego sprzężenia. Na tej podstawie wyznaczono czas koherencji dolinowej trionów, który okazał się znacznie dłuższy niż wcześniej raportowano. Praca dostarcza istotnych informacji o mechanizmach odpowiedzialnych za trwałość koherencji i relaksację nośników w dwuwymiarowych półprzewodnikach oraz pokazuje, że mikroskopia FWM jest niezwykle skutecznym narzędziem do badania lokalnych własności optycznych i koherentnych materiałów z rodziny dichalkogenków metali przejściowych

TJ7. V. Yurgens, T. Jakubczyk i in., *Low-Charge-Noise Nitrogen-Vacancy Centers in Diamond Created Using Laser Writing with a Solid-Immersion Lens*, 2021

Praca opisuje nową metodę tworzenia centrów azot-luka (NV) w diamencie o wyjątkowo niskim poziomie szumu ładunkowego. Autorzy wykorzystali technikę "laser writing" (zapisu

laserowego) wspomagana przez soczewkę imersyjną (t-SIL), z tlenku cyrkonu, co pozwoliło zwiększyć aperturę numeryczną układu optycznego i ograniczyć aberracje sferyczne na granicy powietrze-diaament. Dzięki temu rozwiązaniu udało się tworzyć wakansje przy niskich energiach impulsu (5,8 nJ) – znacznie niższych niż w poprzednich pracach – oraz zapisywać centra NV bardzo blisko powierzchni diamentu (nawet $\sim 1\text{--}2\text{ }\mu\text{m}$) bez grafityzacji powierzchni. Autorzy pracowali w nieeksplorowanym wcześniej reżimie tzw. „przebicia tunelowego”, a nie typowej jonizacji wielofotonowej. Wytworzono trzy próbki z centrami NV na różnych głębokościach (2, 7 oraz $25\text{--}40\text{ }\mu\text{m}$), a następnie charakteryzowano ich jakość optyczną metodą spektroskopii wzbudzenia fotoluminescencji (PLE). Uzyskano wąskie rozkłady szerokości linii widmowej, bliskimi granicznej szerokości wynikającej z czasu życia. Wyniki wskazują, że metoda laserowego zapisu z użyciem t-SIL ogranicza uszkodzenia sieci krystalicznej i stanowi obiecującą drogę do tworzenia wysokiej jakości emiterów pojedynczych fotonów do zastosowań w kwantowej komunikacji (splątanie spin-foton) oraz w układach z mikrownkami fotonicznymi.

TJ8. N. Dalla, P. Kołobek, T. Jakubczyk i in., Off-Resonant Photoluminescence Spectroscopy of High-Optical-Quality Single-Photon Emitters in GaN, 2025

Praca koncentruje się na odnalezieniu centrów (defektów punktowych) emitujących pojedyncze fotony w warstwach GaN wzrastanych techniką MOVPE na podłożu szafirowym. Za pomocą skanów konfokalnych zidentyfikowano gęstość emiterów rzędu $0,01\text{--}0,1\text{ emitera}/\mu\text{m}^2$, emitujących w zakresie $1,85\text{--}2,03\text{ eV}$. Kluczowym wynikiem pracy jest zaobserwowanie u części emiterów bardzo wąskich linii widmowych – szerokość połówkowa (FWHM) rzędu $138\text{ }\mu\text{eV}$, ograniczona jedynie rozdzielczością spektrometru, a nie rzeczywistą (mniejszą) szerokością linii emitera. Badania PLE na ponad 20 emiterach wykazały szerokie pasmo absorpcji między $2\text{ a }2,55\text{ eV}$, różne dla poszczególnych emiterów, bez uniwersalnego wzorca. Zaobserwowano też spektakularne, skokowe przesunięcia linii zero-fononowej – nawet do 22 meV – znacznie większe niż notowane wcześniej. Autorzy tłumaczą to obecnością pojedynczych, izolowanych pułapek ładunkowych w pobliżu defektu. Wyniki te są interesującym wkładem w zrozumienie potencjału defektów punktowych w GaN dla wytwarzania emiterów pojedynczych fotonów.

Ocena osiągnięcia

Wszystkie prace, jak już wspomniałem, zostały opublikowane w międzynarodowych czasopismach o wysokim prestiżu, odpowiednim do obszaru badawczego Habilitanta. Przedstawiony zbiór publikacji jest bardzo spójny tematycznie. Spójność ta dotyczy zarówno przedmiotu badań – obiektów kwantowych zdolnych do emisji pojedynczych fotonów – jak i, w dużym stopniu, zastosowanej metody badawczej, czyli spektroskopii mieszania czterech fal (FWM). Szczególnie pierwszych sześć prac, od TJ1 do TJ6, wykazuje znaczne podobieństwo metodologiczne, choć badania dotyczą różnych układów kwantowych. Wyniki koncentrują się w dużej mierze na wyznaczaniu czasów T_1 i T_2 , opisujących odpowiednio depopulację i utratę

koherencji. Warto jednak podkreślić dodatkowy wysiłek ukierunkowany na zwiększenie efektywności detekcji sygnału poprzez zastosowanie anten fotonicznych, mikrosoczewek oraz soczewek immersyjnych. Habilitant nie tylko prowadzi zaawansowane pomiary optyczne – przy czym należy podkreślić, że FWM nie jest prostą techniką eksperymentalną – lecz również podejmuje znaczący wysiłek związany z interpretacją uzyskanych danych. Ten aspekt jego działalności naukowej zasługuje, moim zdaniem, na szczególne podkreślenie. Za istotny wkład Habilitanta uważam konsekwentne wykorzystanie elementów fotonicznych do zwiększania efektywności sprzężenia światła z pojedynczymi emiterami kwantowymi. Zastosowanie anten falowodowych, mikrosoczewek i soczewek immersyjnych umożliwiło realizację eksperymentów, które w strukturach pozbawionych takich elementów byłyby niezwykle trudne lub wręcz niemożliwe. Projektowanie i wykonanie tego typu struktur wymaga zaawansowanego zaplecza technologicznego oraz ścisłej współpracy między zespołami zajmującymi się technologią i spektroskopią

Z mojego punktu widzenia szczególną uwagę zwracają prace TJ7 i TJ8. Praca TJ7 łączy deterministyczne wytwarzanie centrów NV w diamencie metodą zapisu laserowego z wykonywaniem soczewek immersyjnych oraz badaniem właściwości optycznych otrzymanych centrów. Jest to zatem praca łącząca zaawansowaną technologię wytwarzania struktur z pogłębioną interpretacją fizyczną wyników, a jednocześnie otwierająca perspektywy budowy praktycznych przyrządów kwantowych. Praca TJ8 ma z kolei charakter rozpoznawczy i jest ukierunkowana na poszukiwanie interesujących centrów barwnych w GaN. Należy ona do wczesnych prac w tej rozwijającej się dziedzinie i, w mojej ocenie, może stanowić istotny punkt odniesienia dla dalszych badań i poszukiwań w tym obszarze.

Ocena indywidualnego wkładu habilitanta w przedstawione prace:

Do dokumentacji dotyczącej rozprawy załączono pisma dr. hab. Jacka Kasprzaka z Institut Néel, CNRS w Grenoble, w których odnosi się on do wkładu Habilitanta w publikacje TJ1–TJ6. Stwierdza w nich, że dr Tomasz Jakubczyk wykonał wszystkie pomiary optyczne przedstawione w tych pracach. W odniesieniu do publikacji TJ6 dr hab. Jacek Kasprzak podkreśla ponadto istotne zaangażowanie Habilitanta w analizę danych oraz przygotowanie tekstu publikacji. Z kolei w przypadku pracy TJ3 prof. W. Pacuski z Uniwersytetu Warszawskiego podkreśla wiodącą rolę Habilitanta w realizacji badań – począwszy od sformułowania koncepcji pracy, poprzez wykonanie pomiarów, aż po przygotowanie publikacji.

Oświadczenia współautorów jednoznacznie wskazują na dominujący udział dr. Jakubczyka w realizacji części eksperymentalnej badań. Dokumentacja mniej szczegółowo opisuje jego udział w interpretacji wyników i przygotowaniu tekstów publikacji. Należy jednak zauważyć, że w czterech pracach Habilitant jest pierwszym autorem, co w tej dziedzinie zwykle wiąże się z wiodącą rolą zarówno w realizacji badań, jak i analizie wyników oraz przygotowaniu publikacji.

Staże badawcze i współpraca międzynarodowa.

Kariera badawcza habilitanta od początku rozwijała się w oparciu o współpracę międzynarodową, jego praca doktorska została wykonana jako wspólny doktorat pomiędzy Uniwersytetem Warszawskim a Uniwersytetem w Bremie.

Bezpośrednio po uzyskaniu stopnia doktora dr Tomasz Jakubczyk odbył staż podoktorski w Instytucie Néela CNRS w Grenoble, uczestnicząc w realizacji projektu finansowanego przez European Research Council (ERC Starting Grant).

W latach 2017–2020 prowadził badania na Uniwersytecie w Bazylei jako stypendysta programu Marie Skłodowska-Curie Actions.

Wszystkie zgłoszone do tej habilitacji prace są wykonane we współpracach międzynarodowych.

Aktywność konferencyjna i referaty zaproszone.

Pan Jakubczyk, zgodnie z listą osiągnięć, prezentował dwukrotne referaty zaproszone:

2nd International Conference on Physics of 2D Crystals, Ha Long Vietnam (2017)

Photonics West w San Francisco (2020)

Dwa referaty zaproszone na etapie habilitacji, świadczą o dostrzeżeniu osoby, przez środowisko naukowe. Poza referatami zaproszonymi pan Jakubczyk wymienia 7 innych prezentacji ustnych na konferencjach. Nie wiem, czy przedstawiona lista jest kompletna, jednak, jeżeli obejmuje całość aktywności konferencyjnej Habilitanta, liczbę wystąpień ustnych w okresie 2014–2026 należy uznać za stosunkowo niewielką, szczególnie biorąc pod uwagę jego pracę w bardzo aktywnych i rozpoznawalnych międzynarodowych zespołach badawczych.

Realizacja projektów badawczych.

Habilitant kierował następującymi projektami badawczymi:

1. NCN Preludium: „Zastosowanie bocznego zwierciadła Bragga dla zwiększenia planarnego uwięzienia fonicznego w mikrowętkach filarowych o stałej sieci dopasowanej do ZnTe” w latach 2009-2012, czyli przed doktoratem.
Kierownik projektu Preludium, 2009–2012.
2. NAWA powroty: „Platforma foniczna do badania i funkcjonalizacji emiterów w widzialnym zakresie spektrum” 2020-
3. NCN Sonata” Platforma foniczna do badania i funkcjonalizacji nowych emiterów kwantowych”

Dr Jakubczyk ma dobre doświadczenie w zarządzaniu projektami badawczymi w tym zarówno projektami małymi jak Preludium NCN i wyraźnie większymi jak Sonata NCN. Na poziomie

habilitacji jest to dobry dorobek, świadczący zarówno o umiejętności pisania projektów badawczych jak i o ich realizacji.

Wskaźniki bibliometryczne.

Indeks Hirscha wynoszący 18 oraz cytowania na poziomie około 1000 stanowią dobry wynik na etapie habilitacji, chociaż stosunkowo długi okres, jaki upłynął od uzyskania stopnia doktora (12 lat), nieco osłabia wymowę tych wskaźników. Od około pięciu lat roczne cytowania prac pana Jakubczyka utrzymuje się na poziomie około 100, co może wskazywać na pewną stabilizację oddziaływania jego dorobku naukowego.

Osiągnięcia organizacyjne

Pan dr Tomasz Jakubczyk trzykrotnie, w latach 2022–2024, pełnił funkcję przewodniczącego Szkoły Konferencji „International School & Conference on the Physics of Semiconductors Jaszowiec”. Konferencja Jaszowiec jest największą konferencją poświęconą fizyce półprzewodników w Polsce i obejmuje część wstępną o charakterze edukacyjnym, skierowaną przede wszystkim do studentów i doktorantów. Dr Jakubczyk przewodniczył tej części konferencji i odpowiadał za jej organizację, co – ze względu na zakres i charakter podejmowanych działań – można uznać za osiągnięcie porównywalne z organizacją specjalistycznej konferencji naukowej.

Osiągnięcia dydaktyczne

Dr Jakubczyk nie wspomina w autoreferacie o sprawowaniu opieki naukowej nad studentami. Należy jednak zauważyć, że prowadzenie Szkoły Konferencji Jaszowiec ma również istotny wymiar dydaktyczny i w mojej ocenie może być traktowane jako znaczące osiągnięcie w tym obszarze. Niemniej jednak brakuje mi informacji dotyczących opieki nad magistrantami czy też pełnienia funkcji promotora pomocniczego w przewodach doktorskich.

Wniosek końcowy

Przedstawione przez dr. Tomasza Jakubczyka osiągnięcia habilitacyjne, obejmujące cykl publikacji TJ1–TJ8, stanowi spójny ciąg badań różnych typów układów kwantowych i stanów ekscytonowych, istotnych z punktu widzenia rozwoju optyki i fotoniki kwantowej, w tym emiterów pojedynczych fotonów. Wskazane publikacje pokazują, że habilitant bardzo dobrze odnajduje się w zaawansowanej tematyce badawczej, zarówno od strony wymagających eksperymentów optycznych, jak i interpretacji uzyskanych wyników. Cykl porządkuje i rozwija wiedzę dotyczącą mechanizmów dekoherencji w takich układach, jak ekscytyny w materiałach dwuwymiarowych, w szczególności dichalkogenkach metali przejściowych, półprzewodnikowe kropki kwantowe oraz centra barwne. Do badań optycznych struktur półprzewodnikowych kandydat wprowadza również elementy fotoniczne – anteny fotoniczne, struktury typu „photonic trumpet” oraz mikrosoczewki – umożliwiające efektywną ekstrakcję światła z układów zero-wymiarowych. Prace zostały opublikowane w bardzo dobrych czasopiśmie i uzyskały odpowiedni rezonans w środowisku naukowym, czego potwierdzeniem są cytowania prac wchodzących w skład cyklu habilitacyjnego.

W mojej ocenie przedstawiony cykl publikacji stanowi znaczny (widoczny dla środowiska) wkład dr Jakubczyka w dziedzinę fizyki półprzewodników i systemów niskowymiarowych.

W kontekście formalnych wymagań ustawy należy również podkreślić doświadczenie habilitanta zdobyte podczas dłuższych staży zagranicznych, które zaowocowały trwałą i wieloletnią współpracą z zagranicznymi grupami badawczymi.

W autoreferacie brakuje natomiast tego, co w przeszłości stanowiło standardowy element tego typu dokumentów, a mianowicie szczegółowego opisu rozwoju kariery naukowej oraz wyraźnego przedstawienia roli, jaką kandydat pełnił w badaniach składających się na zgłoszone osiągnięcie habilitacyjne. Utrudnia to recenzentowi pełną ocenę indywidualnego wkładu habilitanta w przedstawiony cykl prac.

W mojej ocenie zarówno przedstawione osiągnięcie naukowe w postaci cyklu publikacji, jak i całokształt aktywności naukowej oraz przebieg kariery zawodowej kandydata spełniają wymagania określone w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. W związku z powyższym wnioskuję do Rady Naukowej Dyscypliny Nauki Fizyczne Uniwersytetu Warszawskiego o nadanie dr. Tomaszowi Jakubczykowi stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, w dyscyplinie nauki fizyczne.

Warszawa 13 lipca 2026

Prof. dr hab. Piotr Perlin

