

Warszawa, 6.12.2024

prof. dr hab. Inż. Jan Jabczyński
Wojskowa Akademia Techniczna
Instytut Optoelektroniki

Recenzja osiągnięć naukowych Pani dr inż. Katarzyny KRUPY,
w tym cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych pt.

**„Złożoność nieliniowej czasowo-przestrzennej
dynamiki propagacji wiązki laserowej
w optycznych światłowodach wielomodowych” ,**

stanowiących podstawę ubiegania się o nadanie stopnia naukowego
doktora habilitowanego w dyscyplinie nauki fizyczne

1. Podstawa prawna

Przedmiot recenzji w postępowaniu habilitacyjnym Pani dr inż. Katarzyny Krupy stanowią przedstawione w dokumentacji osiągnięcia naukowe, w tym cykl powiązanych tematycznie 12 wieloautorskich artykułów naukowych [1-KK – 12-KK] opublikowanych w latach 2016-2020 w czołowych periodykach naukowych z fizyki. Taka realizacja procedury habilitacyjnej zgodna jest wymogami art. 219 ust. 1. pkt 2b Ustawy z dn 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2023 r. poz. 742 ze zm.). Należy dodać, że publikacje te nie były wykorzystywane w procedurach awansowych na stopień lub tytuł naukowy innych osób. Na końcu każdej z nich przedstawiony jest zakres odpowiedzialności poszczególnych współautorów w powstanie dzieła. Ponadto, w załączniku nr 6 dokumentacji przedstawione są oświadczenia współautorów potwierdzające ich zakres współudziału w powstaniu ww. artykułów, oraz w załączniku nr 7 zadeklarowany jest udział Habilitantki w ich powstaniu. Tym samym dostarczony zbiór dokumentacji spełnia wszystkie wymogi formalno-prawne.

2. Sylwetka naukowa Pani dr inż. Katarzyny Krupy

Pani dr inż. Katarzyna Krupa jest absolwentką Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej specjalność inżynieria fotoniczna (2004). Praca magisterska dotyczyła interferometrii i spektroskopii fourierowskiej. W latach 2005-10 przygotowała i obroniła rozprawę doktorską w ramach międzynarodowego programu (*co tutelle*) pomiędzy Politechniką Warszawską a Uniwersytetem w Besançon (we Francji). Praca dotyczyła technologii MEMS. Można stwierdzić, że wykształcenie politechniczne oraz tematyka obu prac sytuowały aktywność Habilitantki w szeroko rozumianej inżynierii fotonicznej. Warto dodać, że

uzyskane wtedy wyniki naukowe zostały również docenione w świecie, o czym świadczy fakt, że jedna z publikacji powstałych w tym okresie zyskała ponad 60 cytowań.

Kolejny okres pracy naukowej Pani dr inż. Katarzyny Krupy związany jest z nową dla niej specjalnością, mianowicie nieliniową fotoniką światłowodową, subdyscypliną z pogranicza nauk fizycznych oraz nauk inżynieryjno-technicznych, bardzo gwałtownie rozwijającą się w ostatnich dziesięcioleciach. W latach 2010-2015 była zatrudniona w Université de Limoges, Institut XLIM, w latach 2016-2017 i 2018-2019 na Université Bourgogne Franche-Comté, Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne (ICB) oraz w latach 2017-2018 w Università degli Studi di Brescia, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Brescia, Włochy.

Od końca 2019 r. zatrudniona jest w Instytucie Chemii Fizycznej PAN na stanowisku adiunkta.

Podstawowy dorobek naukowy Habilitantki, stanowiący m.in. osiągnięcie naukowe w postaci cyklu powiązanych tematycznie 12 artykułów naukowych, został uzyskany podczas staży naukowych na uniwersytetach we Francji i we Włoszech. Należy dodać, że aktywność naukowa Habilitantki w latach 2010-2019, o czym będzie mowa w p. 4. recenzji, nie ograniczała się do głównej tematyki cyklu habilitacyjnego tj. nieliniowej fotoniki na włóknach wielomodowych.

W IChF PAN Habilitantka kontynuuje aktywność naukową w tej tematyce, prowadzi równolegle badania w innych obszarach fotoniki. Spełnia tym samym **wymóg prowadzenia działalności naukowej w co najmniej dwóch instytucjach naukowych** (dwóch krajowych (PW i IChF) oraz trzech zagranicznych).

Pod względem bibliometrycznym osiągnięcia Habilitantki są imponujące. Obecnie (dane z bazy SCOPUS na dzień 2.12.2024) po odrzuceniu autocytowań index $h = 24$, liczba cytowań = 2332, z czego cykl 12 artykułów, stanowiących osiągnięcie będące podstawą procedury habilitacyjnej, zyskał ponad 1000 cytowań. Dokonania w innych obszarów fotoniki są również znakomite. Jej osiągnięcia naukowe są szeroko znane w świecie, o czym świadczy m.in. znalezienie się na liście top 2% najbardziej wpływowych uczonych w roku 2022 wg bazy danych Ioanidis.

3. Ocena cyklu powiązanych tematycznie publikacji będących podstawą do uzyskania stopnia doktora habilitowanego

Przedmiotem oceny jest tu cykl powiązanych tematycznie 12 wieloautorskich artykułów naukowych [1-KK – 12-KK] opublikowanych w latach 2016–2020 w czołowych periodykach naukowych z fizyki. W ośmiu z nich Habilitantka jest pierwszym, w trzech drugim oraz w jednej z nich trzecim współautorem [9-KK]. Wszystkie prace cyklu zawierają wyniki eksperymentalne uzyskane w zespołach naukowych Habilitantki, gdzie z reguły była odpowiedzialna za opracowanie i przeprowadzenie eksperymentu. W załączniku nr 6 dokumentacji przedstawione są oświadczenia współautorów potwierdzające ich zakres współdziałania w powstaniu ww. artykułów, natomiast w załączniku nr 7 zadeklarowany jest udział Habilitantki w ich powstaniu.

Z uwagi na pewien upływ czasu (od 4 do 8 lat) od publikacji rzeczonych artykułów naukowych można już ocenić ich wpływ na dyscyplinę, który w mojej opinii jest **bardzo istotny**, o czym świadczy sumaryczna liczba ponad 1000 cytowań wg bazy Scopus z końca 2024 r. Wyniki pierwszych czterech prac [1-KK – 4-KK] z lat 2016-17 były na tyle nowe i zaskakujące, że

w krótkim okresie pojawiło się bardzo wiele innych prac naukowych, w których je komentowano, analizowano teoretycznie, i weryfikowano eksperymentalnie. Sam ten fakt wystarcza do wykazania **bardzo istotnego wpływu** prac Habilitantki na dyscyplinę. Należy dodać, że wiele (co najmniej kilkanaście wg mojej wiedzy) istotnych, szeroko cytowanych artykułów naukowych współautorstwa Habilitantki z tego obszaru tematycznego nie znalazło się ww. cyklu publikacji.

Pomimo 'powściągliwego' i dość ogólnego sformułowania tytułu cyklu publikacji, Habilitantka wykazała eksperymentalnie i potwierdziła w analizach teoretycznych zaskakujące możliwości 'samo-organizacji' struktury poprzecznej, szerokopasmowej generacji superkontinuum oraz czasowo-przestrzennych solitonów w badanych układach nieliniowej fotoniki na włóknach wielomodowych. Prawie zawsze podstawową przyczyną jest tu zjawisko geometrycznej niestabilności parametrycznej (GNP) polegające na czasowo-przestrzennym sprzężeniu wielu modów, gdzie rolę 'geometrii' spełnia architektura włókna wielomodowego (włókna o parabolicznym profilu współczynnika załamania, typu step-index lub włókna fotonicznego). Zjawisko GNP spotykane jest także w innych obszarach fizyki, prowadzi m.in. do efektu kondensacji w systemach kwantowych, w hydrodynamice, stąd ogromne zainteresowaniem wynikami eksperymentalnymi z obszaru nieliniowej fotoniki światłowodowej uzyskanymi przez Habilitantkę. Eksperymenty przeprowadzone przez Habilitantkę mogły stanowić rodzaj 'doświadczalnego poligonu', dostępnego, jak się okazało, w wielu laboratoriach fotonicznych na świecie, umożliwiającego testowanie teoretycznych modeli efektu GNP. Co warto podkreślić, Habilitantka uzyskała bardzo dobrą zgodność eksperymentu z teorią, w szczególności w badaniach widmowych generacji superkontinuum.

Każda z prac cyklu wnosi coś nowego do szeroko rozumianej nieliniowej fotoniki światłowodowej (w rozumieniu nowych eksperymentów, odmiennych konstrukcji układu, prób opisu teoretycznego itp.). Ze względu na obszerny i b. szczegółowy Autoreferat, w którym przedstawione są podstawowe wyniki uzyskane w kolejnych pracach cyklu oraz omówiona aktywność naukowa Habilitantki w innych obszarach, w dalszej części recenzji pozwolę sobie na subiektywny wybór i podkreślenie najważniejszych wyników naukowych Habilitantki przedstawionych w cyklu artykułów naukowych [1-KK – 12-KK].

Chyba najistotniejszym wynikiem naukowym Habilitantki jest, w mojej opinii, eksperymentalne wykazanie nieliniowych efektów generacji widmowo-czasowo-przestrzennej połączonych z *samoorganizacją struktury modowej* [3-KK, 4-KK] w przypadku propagacji kW impulsów laserowych w różnych typach światłowodów wielomodowych. Efekt ten pod pewnymi względami przypomina zademonstrowany w latach 90-tych przez G. Mourou i innych efekt powstawania 'filamentów' tj. generacji superkontinuum i samo-ogniskowania podczas propagacji TW wiązek laserowych o femtosekundowych czasach trwania w atmosferze, ma jednak inny mechanizm fizyczny i wymaga o wiele rzędów (> 8) wyższych mocy promieniowania. Natomiast w przypadku efektu GNP obserwowanego we włóknach wielomodowych mamy do czynienia z nałożeniem się efektu Kerra na 'geometryczną' strukturę włókna wielomodowego skutkującym wspomnianą w tytule cyklu *złożoną strukturą czasowo-widmowo-przestrzenną generacji*, przy czym występuje tu samoobrazowanie z periodem GNP zależnym jedynie od architektury włókna skutkujące m.in. generacją periodycznego superkontinuum z częstościami rezonansowymi zależnymi od dyspersji chromatycznej i periodu GNP oraz modulacja struktury czasowej impulsu. Progowe moce nie przekraczają tu kilku – kilkadziesiąt kW, zaś czasy trwania impulsu są w skali sub-nanosekundowej lub

krótszej, stąd eksperymentalna weryfikacja tych efektów możliwa jest w bardzo wielu laboratoriach naukowych zajmujących się fotoniką laserową.

Najciekawszy w mojej opinii, efekt 'samo-oczyszczania' Kerra, na pozór sprzeczny z intuicją, do tej pory jest modelowany teoretycznie i stanowi wyzwanie dla fizyków teoretyków. Z uwagi na fakt, że w modelowaniu używany jest ten sam aparat matematyczny (tj. rozwiązania nieliniowego r-nia Schroedingera) co w fizyce kwantowej, możliwość eksperymentalnej weryfikacji w technice światłowodowej różnych modeli teoretycznych (np. teorii kondensacji fal optycznych) stanowi jedną z przyczyn ogromnego zainteresowania fizyków teoretyków. Należy dodać, że w przypadku generacji w trybie pracy ciągłej, obserwowany jest z reguły efekt odwrotny tj. progowy wzrost niestabilności modów poprzecznych (*transverse mode instabilities*) w laserach dużych mocy, także stanowiący po części zagadkę naukową i będący tematem licznych prac badawczych do tej pory. Trzeba tu dodać, że opanowanie efektu 'samooczyszczania' wiązki laserowej w ośrodku losowym (za jaki można także uznać przypadek propagacji wiązki laserowej we włóknie wielomodowym) to święty Grail, marzenie, cel i wyzwanie dla fizyków laserowych od kilkadziesiąt lat. Należy wyrazić nadzieję, że połączone wyniki badań teoretycznych i eksperymentalnych z obu tych obszarów doprowadzą w przyszłości do budowy wydajnych źródeł laserowych o bardzo dużych mocach średnich.

Kolejnym, wartym podkreślenia osiągnięciem Habilitantki, mającym bardzo duży potencjał aplikacyjny, jest pokazanie możliwości generacji superkontinuum w bardzo szerokim zakresie światła widzialnego i bliskiej podczerwieni [1-KK, 2-KK, 5-KK, 7-KK, 10-KK, 11-KK, 12-KK] połączonej z poprawą struktury poprzecznej (tj. zmniejszeniem objętości i wzrostem jasności wiązki wyjściowej) co jest bardzo istotne w spektroskopii i biomedycznym obrazowaniu nieliniowym. Generacja superkontinuum to oczywiście bardzo obszerna tematyka, bardzo popularna w ostatnich dziesięcioleciach, główną zaletą w tym przypadku jest możliwość uzyskanie w relatywnie prosty sposób bardzo szerokiego widma (+/- 200-400 THz) pokrywającego całe okno transmisji krzemionki o wyraźnej strukturze okresowej wynikającej z istoty efektu GPI. Prace naukowe Habilitantki w tej tematyce kontynuowane z powodzeniem w ostatnich latach w IChF PAN, mogą istotnie wpłynąć na rozwój metod diagnostycznych w biochemii i biomedycynie, a tym samym mieć duży wpływ na zdrowie publiczne.

Zwieńczeniem i podsumowaniem aktywności naukowej Pani dr inż. Katarzyny Krupy w tej tematyce jest zaproszony, przeglądowy artykuł z 2019 r. opublikowany w APL Photonics [11-KK, liczba cytowań >150]. Artykuł ten jest monografią poświęconą wyłaniającemu się, nowemu obszarowi nieliniowej fotoniki we włóknach wielomodowych, w której to tematyce jednym z czołowych badaczy-eksperymentatorów i autorytetów w skali międzynarodowej jest Habilitantka. Należy dodać, że w ostatnim 5-leciu (2020-24) ta tematyka dalej jest bardzo aktywnie uprawiana na świecie (również w kraju), przy istotnym udziale Habilitantki.

4. Ocena 'pozostałego' dorobku naukowego Habilitantki.

Jak wspomniano w p. 2 recenzji, Pani dr inż. Katarzyna Krupa opublikowała ponad 70 artykułów naukowych (w tym 3 przed doktoratem) z fotoniki oraz jest współautorką 3 rozdziałów w monografiach naukowych. Łączna liczba Jej publikacji indeksowanych w bazie SCOPUS na koniec 2024 r wynosi 91, liczba cytowań przekracza 2300, index h. =24.

Należy dodać, że poza cyklem powiązanych tematycznie publikacji [1-KK – 12-KK], Habilitantka opublikowała w tematyce wiodącej co najmniej kilkanaście innych artykułów

naukowych w czołowych pismach naukowych, które spotkały się z dużym oddźwiękiem w środowisku.

Poza przedstawioną w cyklu [1-KK–12-KK] tematyką nieliniowej fotoniki we włóknach wielomodowych, Habilitantka zajmowała się z dużymi sukcesami naukowymi m.in.

- badaniami i modelowaniem struktur MEMS, (jeszcze w ramach doktoratu)
- badaniami ultraszybką dynamiki impulsowych laserów światłowodowych
- badaniami wymuszonego rozpraszania Ramana w światłowodach typu *hollow-core* wypełnionych gazem CO₂
- badaniami zjawiska mieszania czterofalowego w kontekście zastosowań w optyce kwantowej
- badaniami przestrzennego i widmowego kształtowaniem wiązki w kryształach nieliniowych
- badaniami laserów światłowodowych o ultra długiej wnęce do zastosowań w kryptografii
- zastosowaniami opracowanych przez jej zespół szeroko pasmowych impulsowych źródeł laserowych w obrazowaniu biomedycznym.

We wszystkich tych obszarach uzyskała znaczące wyniki opublikowane w najlepszych pismach z dziedziny (patrz Autoreferat str. 35- 42).

5. Ocena wkładu Kandydatki w rozwój dyscypliny naukowej

Przedstawione w Autoreferacie Habilitantki jak i zawarte w mojej recenzji argumenty formalne (i.h.=24, liczba cytowań ponad 2300, miejsce w top 2% najlepszych uczonych wg bazy Ioanidis) jak i merytoryczne pozwalają stwierdzić, że osiągnięcia Pani dr inż. Katarzyny Krupy, będącej jednym z twórców i międzynarodowych autorytetów nieliniowej fotoniki na włóknach wielomodowych (patrz m.in. [11-KK]), wywarły **bardzo istotny wpływ na rozwój dyscypliny**. Należy dodać, że dalej ta aktywność jest kontynuowana, o czym świadczą Jej publikacje z ostatnich lat. Warta podkreślenia jest także aktywność naukowa Habilitantki w innych obszarach fotoniki (m.in. badaniach ultraszybkich laserów światłowodowych, zastosowaniach laserów w optyce kwantowej i kryptografii, technikach kształtowania wiązki w ośrodkach nieliniowych, zastosowaniach szerokopasmowych źródeł laserowych w obrazowaniu biomedycznym).

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę

Pani dr inż. Katarzyna Krupa skutecznie łączy aktywność naukową z dydaktyką. Jako asystent przed doktoratem prowadziła na Politechnice Warszawskiej w latach 2004-2009 zajęcia dydaktyczne, kontynuowała je także na Uniwersytecie Limoges w latach 2012-2015 (jako asystent dydaktyczny), oraz jako profesor wizytujący w 2022 r.

Pełniła również funkcję opiekuna naukowego dwóch post doców (dr Fatemeh Ghasemi w IChF PAN i dr Alioune Niang na Uniwersytecie w Bresci), promotora pomocniczego dwóch doktorantów w IChF PAN: pani Cassia Corso Silva i pana Mateusza Pielacha, oraz promotora/opiekuna 5 prac magisterskich.

Współorganizowała w 2022 r. szkołę letnią Siegman International School on Lasers w Chęcinach.

Ponadto, w latach 2007 – 2023 wygłaszała wykłady popularno-naukowe, uczestniczyła w dniach otwartych, udzielała wywiadów prasowych, uczestniczyła w popularno-naukowym programie Krypton dla TVP Nauka.

Była członkiem komitetów naukowych prestiżowych konferencji naukowych (CLEO-US-2024, CLEO Europe EQEC-2023, OSA NLO-2021, IEEE Summer Topical Meeting-2023).

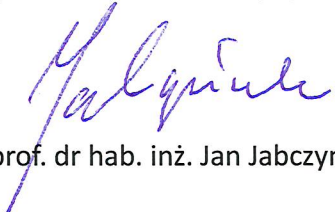
Pełniła wielokrotnie funkcję recenzenta w międzynarodowych czasopismach wydawanych przez OPTICA/OSA, Elsevier, Science group, Nature group. Uczestniczyła w 4 komisjach doktorskich.

Pełniła także funkcję recenzenta w konkursie NCN Sonata -Bis (2018) oraz w Izraelskiej fundacji Nauki (2024).

Ma liczne grono współpracowników naukowych z Francji, Włoch i USA.

7. Konkluzja

Przedstawione w dokumentacji postępowania habilitacyjnego oraz omówione w recenzji osiągnięcia naukowe, w tym cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w najlepszych pismach z dyscypliny, oraz inne osiągnięcia naukowe, dydaktyczne i organizacyjne Pani dr inż. Katarzyny Krupy pozwalają mi z pełnym przekonaniem stwierdzić, że spełnione są z **bardzo dużym nadmiarem** kryteria sformułowane w wymaganiach odnośnie uzyskanie stopnia doktora habilitowanego wg Ustawy z dn. 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2023 r. poz. 742 ze zm.). Oceniam je **jednoznacznie pozytywnie**. Szczególnie wysoko oceniam wpływ Pani dr inż. Katarzyny Krupy na rozwój nieliniowej fotoniki na włóknach wielomodowych.



prof. dr hab. inż. Jan Jabczyński