

Krzysztof M. Abramski, profesor  
Katedra Torii Pola, Układów Elektronicznych i Optoelektroniki  
Wydział Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów  
Politechnika Wroclawska  
50-37- Wrocław, Wybrzeże Wyspiańskiego 27  
Tel. (71) 320 30 24, Fax (71) 320 30 24  
e-mail: krzysztof.abramski@pwr.edu.pl

Wrocław, 13 grudnia 2024

**Ocena rozprawy habilitacyjnej oraz  
całokształtu dorobku naukowego dr inż. Katarzyny Krupy,  
"Złożoność nieliniowej czasowo-przestrzennej dynamiki propagacji wiązki laserowej  
w optycznych światłowodach wielomodowych"**

Pani dr inż. Katarzyna Krupa ukończyła studia na kierunku Automatyka i Robotyka Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej (praca magisterska – **Analiza i modelowania korekcji fazy w interferogramie i widmie otrzymanym z pomiarów spektrometrem fourierowskim**) w 2004 roku. Pracę doktorską (*Opto-numerical analysis of AlN piezoelectric thin film operating as an actuation layer in MEMS cantilevers*) realizowaną w programie *co-tutelle*, pod promotorstwem profesorów Christophe Gorecki'ego (*Universite De Besancon*) i Romualda Jóźwickiego (Wydział Mechatroniki Politechniki Warszawskiej) obroniła w październiku 2009 (Besancon) i w styczniu 2010 (Warszawa). Po doktoracie, w latach 2010-2015 pracuje na pozycji post-doc na Wydziale Fotoniki, *Universitete de Limoges* we Francji. W latach 2016-2017 oraz 2018-2019 zatrudniona jest na rocznych stażach podoktorskich w *Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, Universite Bourgogne Franche-Comte, Dijon*, Francja. W latach 2017-2018 (półtora roku) pracuje na stażu podoktorskim na Wydziale Informatyki na włoskim *Universita degli Studi di Brescia*.

Od grudnia 2019 do chwili obecnej dr Krupa pracuje w Instytucie Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk w Warszawie. I tuszę, że robiąc dużą, owocną naukowo pętlę po Europie, zdecydowała się na powrót do kraju, by tworzyć tutaj własną grupę badawczą.

**Wstępne uwagi i dane bibliometryczne**

Do rozprawy habilitacyjnej dr inż. Katarzyna Krupa przedstawiła jednotematyczny cykl dwunastu publikacji z IF, opublikowanych w prestiżowych czasopismach:

- |   |                              |                       |
|---|------------------------------|-----------------------|
| 1. <i>Physical Review Letter</i> , 2016,  | (1-sze autorstwo spośród 8)  | 184 cyt., IF = 8,462, |
| 2. <i>Optics Letters</i> , 2016,          | (1-sze autorstwo spośród 8)  | 79 cyt., IF = 3,416,  |
| 3. <i>Nature Photonics</i> , 2017,        | (1-sze autorstwo spośród 8)  | 343 cyt., IF= 32,521, |
| 4. <i>Optics Express</i> , 2017,          | (2-gie autorstwo spośród 8)  | 55 cyt., IF = 3,356,  |
| 5. <i>Optics Letters</i> , 2017,          | (2-gie autorstwo spośród 8)  | 22 cyt., IF = 3,589,  |
| 6. <i>Physical Review A</i> , 2018,       | (1-sze autorstwo spośród 7)  | 32 cyt., IF = 2,907,  |
| 7. <i>Optics Letter</i> , 2018,           | (2-gie autorstwo spośród 8)  | 22 cyt., IF = 3,866,  |
| 8. <i>Optics Letters</i> , 2018,          | (1-sze autorstwo spośród 12) | 19 cyt., IF = 3,719,  |
| 9. <i>Physical Review Letters</i> , 2019, | (3-cie autorstwo spośród 5)  | 35 cyt., IF = 8,385,  |
| 10. <i>JOSA B</i> , 2019,                 | (1-sze autorstwo spośród 7)  | 5 cyt., IF = 2,180,   |

11. APL Photonics, 2019, (1-sze autorstwo spośród 10) 131 cyt., IF = 6,547,  
12. Scientific Reports, 2020, (1-sze autorstwo spośród 10) 6 cyt., IF = 4,379,  
których sumaryczny **Impact Factor wynosi 83,051**.

Współautorstwo tych publikacji jest z pewnością kompensowane faktem, że Pani dr Krupa jest ich wiodącym autorem i autorem korespondencyjnym (w 8 publikacjach pierwszym, w 3 publikacjach drugim, a w jednym trzecim autorem).

Poza monotematycznym „habilitacyjnym wątkiem” dwunastu publikacji dorobek publikacyjny Pani dr Krupy jest imponujący i dla formalności należy go szczególnie zauważyć i docenić, bowiem ten dorobek mocno wspiera i uzasadnia wybór tematyki habilitacyjnej.

**Na całkowity dorobek publikacyjny Habilitantki składa się:**

**Dorobek publikacyjny przed doktoratem:**

- współautorstwo 3 publikacji w czasopismach z IF,
- współautorstwo 12 prezentacji na międzynarodowych konferencjach,
- współautorstwo 2 prezentacji na konferencjach polskich

**Dorobek publikacyjny po doktoracie:**

- współautorstwo 66 publikacji z IF,
- współautorstwo 72 prezentacji na międzynarodowych konferencjach,
- współautorstwo w 20 konferencjach we Francji (okres pracy we Francji),
- współautorstwo w 2 konferencjach we Włoszech (okres pracy we Włoszech).
- współautorstwo 3 patentów międzynarodowych.

Należy zwrócić uwagę na olbrzymią aktywność publikacyjną Habilitantki, która uczestniczyła w wielu pracach badawczych niezwiązanych bezpośrednio z prezentowanym „wątkiem habilitacyjnym”, tym bardziej, że wśród 66 artykułów opublikowanych po doktoracie, Pani dr Krupa w 20 przypadkach jest pierwszą autorką. Gros tych publikacji dotyczyła propagacji światła w światłowodach wielomodowych. Te publikacje ukazały się w bardzo prestiżowych czasopismach: Optics Letter (17 prac), Optics Express (8 prac), Physical Review Letters (7 prac), Physical Review A (3 prace), Scientific Reports (3 prace), JOSA B (3 prace), Journal of Lightwave Technology (3 prace), Optica (2 prace), Nature Photonics i inne. Jeśli idzie o konferencje to w 13 przypadkach wygłaszała „Invited Lectures”.

**Dane bibliometryczne**

- Liczba cytowań według bazy Web of Science – 2170 , bez autocytowań - 1810
- Liczba cytowań według bazy Scopus – 2604, - bez autocytowań 2066
- Indeks Hirscha według bazy Web of Science - 22
- Indeks Hirscha według bazy Scopus – 25
- Sumaryczny Impact Factor według listy JCR zgodnie z rokiem opublikowania – 310,278
- Liczba punktów MNiSW – 8730

**Powyższe dane należy uznać za bardzo dobre postrzeżenie dorobku Habilitantki na arenie międzynarodowej.**

**„Osiągnięcia naukowe” według Habilitantki (monotematycznego cyklu publikacji)**

Zgadzam się całkowicie z Habilitantką, że światłowody wielomodowe (w sensie modów poprzecznych) wzbudzały i wzbudzają olbrzymią tajemniczość i trudności w interpretacji i kontrolowaniu propagowania promieniowania laserowego, zarówno pracy ciągłej jak i pracy

impulsowej. I jestem pod dużym wrażeniem, że Pani dr Katarzyna Krupa zmierzyła się z problemem przynajmniej częściowego zrozumienia i prób ujarznienia tej trudnej problematyki. Istotnie, stopień trudności rozumienia zjawisk propagacji struktur modowych w światłowodach wielomodowych jest nieporównywalnie bardziej skomplikowany w porównaniu do dość dobrze już poznanej struktury światłowodu jednomodowego. Wielość zjawisk nieliniowych typu: samoogniskowanie, samomodulacja fazy, mieszanie czterofalowe, wymuszonego rozpraszania Ramana, generacja harmonicznych, synchronizacja fazowa modów, +mają istotny wpływ na czasowo-przestrzenną strukturę propagowanej fali.

W wątku habilitacyjnym pt. „Złożoność nieliniowej czasowo-przestrzennej dynamiki propagacji wiązki laserowej w optycznych światłowodach wielomodowych” Habilitanka emfazuje Swoje dwa osiągnięcia naukowe:

**1. W światłowodzie wielomodowym o parabolicznym współczynniku załamania światła dr Krupa zademonstrowała eksperymentalnie nowy rodzaj nieliniowej konwersji częstotliwości, powstałej w wyniku tak zwanego zjawiska geometrycznej niestabilności parametrycznej polegającej na pojawianiu się we włóknie naturalnych oscylacji występujących podczas propagacji wiązki w wielu modach przestrzennych (1-KK K. Krupa i in., PRL 116, 183901, 2016; 184 cytowań bez autocytowań według danych z Scopus).**

**2. Odkrycie spektakularnego zjawiska samoorganizacji wiązki wielomodowej, obecnie znane jako zjawisko samoorganizacji Kerra (*Kerr beam self-cleaning*), które znacząco poprawia przestrzenną jakość wiązki na wyjściu z włókna wielomodowego, natomiast zjawisko to jest wyjątkowo nieczułe na zakłócenia zewnętrzne, takie jak np. naprężenia czy zginanie. Ten nieliniowy efekt Kerra ma zdolność do tworzenia bardzo stabilnej, regularnej wiązki kształtem zbliżonej do modu podstawowego światłowodu (3-KKK. Krupa i in., Nat. Phot. 11, 237, 2017; 343 cytowań bez autocytowań według danych z Scopus).**

## Omówienie publikacji cyklu habilitacyjnego

### Publikacja 1 (1-KK),

K. Krupa, A. Tonello, B. M. Shalaby, A. Barthélémy, V. Couderc, A. Bendahmane, G. Millot, S. Wabnitz, „Observation of geometric parametric instability by the periodic spatial self-imaging of multimode waves”, Physical Review Letter 116, 183901, 2016, DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.116.183901>, IF: 8.462; MNISW: 200, 157 cytowań (WoS), 184 cytowań (Scopus). Udział Pani K. Krupy: Planowanie badań i przeprowadzenie eksperymentów; analizowanie danych; dyskusowanie i interpretowanie otrzymanych wyników; koordynowanie łączenia analizy eksperymentalnej z przeprowadzaniem symulacji numerycznych; przygotowanie manuskryptu i koordynowanie procesu jego publikacji.

Jest to publikacja dotycząca przestrzenno-czasowego sprzężenia modów w wielomodowym światłowodzie typu GRIN (*graded-index*). Ta publikacja opisuje spektakularny i oryginalny pierwszy eksperyment demonstrujący generację wielu pasm bocznych wywołanych niestabilnością parametryczną, a generowanych w dziedzinie częstotliwości poprzez rezonansowe sprzężenie czasoprzestrzenne. Tłumaczy to naturalnym okresowym przestrzennym samoobrazowaniem wielomodowej quasi-ciągłej wiązki falowej w standardowym światłowodzie wielomodowym typu GRIN, tak zwany efekt GPI (geometric-type parametric instability). Do eksperymentu użyto impulsowy subnanosekundowy laser neodymowy (1064nm). Eksperymentalnie zaobserwowany odstęp częstotliwości między pasmami bocznymi dobrze zgadza się z przewidywaniami analitycznymi i symulacjami numerycznymi. Pierwszy rząd znajdują się przy odstrojeniu około 120 THz od częstotliwości pompy. Wyniki te otworzyły możliwość konwersji lasera bliskiej podczerwieni bezpośrednio na szeroki zakres spektralny obejmujący długości fal widzialnych i podczerwonych, za pomocą pojedynczego rezonansowego parametrycznego efektu nieliniowego występującego w normalnym reżimie dyspersji. W tej publikacji jako kolejny dowód na silny reżim sprzężenia czasoprzestrzennego zaobserwowano spektakularny efekt silnego zawężenia profilu wiązki, z wyraźnym progim tego zjawiska.

#### Publikacja 2 (2-KK)

K. Krupa, Ch. Louot, V. Couderc, M. Fabert, R. Guenard, B. M. Shalaby, A. Tonello, D. Pagnoux, P. Leproux, A. Bendahmane, R. Dupiol, G. Millot, S. Wabnitz, "Spatiotemporal characterization of supercontinuum extending from the visible to the mid-infrared in graded-index multimode fiber", *Optics Letters* 41, 5785-5788, 2016, DOI: <https://doi.org/10.1364/OL.41.005785>, IF: 3.416; MNiSW: 140, 71 cytowań (WoS), 79 cytowań (Scopus). Udział Pani K. Krupy: Planowanie badań i przeprowadzenie eksperymentów; analizowanie danych; dyskusowanie i interpretowanie otrzymanych wyników; koordynowanie łączenia analizy eksperymentalnej z przeprowadzaniem symulacji numerycznych; udział w przygotowaniu manuskryptu.

Ta praca jest naturalną kontynuacją tematyki z publikacją [2-KK], gdzie eksperymentalnie wykazano, że pompowanie światłowodu wielomodowego o gradientowym indeksie subnanosekundowymi impulsami z lasera Nd: YAG prowadzi do szerokopasmowej spektralnie generacji *supercontinuum* z jednolitym profilem quasi-gassowskim wiązki rozciągającym się spektralnie od pasma widzialnego do średniej podczerwieni (do 2500 nm). Przebadano ewolucję generacji *supercontinuum* wzdłuż wielomodowego włókna światłowodu za pomocą metody „cut-back”, która pozwoliła przeanalizować i zidentyfikować konkurencję między podstawowymi zjawiskami: indukowaną przez efekt Kerra geometryczną niestabilnością parametryczną i stymulowanym rozpraszaniem Ramana. Przeprowadzono spektralnie rozdzieloną analizę czasową emisji *supercontinuum* i różnych jego fragmentów spektralnych, a także analizę pola bliskiego i dalekiego.

#### Publikacja 3 (3-KK)

K. Krupa, A. Tonello, B. M. Shalaby, M. Fabert, A. Barthélémy, G. Millot, S. Wabnitz, and V. Couderc, "Spatial beam self-cleaning in multimode fibres.", *Nature Photonics* 11, 237-241, 2017, DOI: <https://doi.org/10.1038/nphoton.2017.32>, IF: 32.521; MNiSW: 200, 285 cytowań (WoS), 343 cytowań (Scopus). Udział Pani K. Krupy: Planowanie badań i przeprowadzenie eksperymentów; analizowanie danych; dyskusowanie i interpretowanie otrzymanych wyników; koordynowanie łączenia analizy eksperymentalnej z przeprowadzaniem symulacji numerycznych; przygotowanie manuskryptu i koordynowanie procesu jego publikacji.

Ta publikacja dotyczy eksperymentów z wielomodowymi światłowodami o skokowym profilu współczynnika załamania. Dla małych mocy wiązki laserowej struktura modów poprzecznych jest widoczna jako charakterystyczna struktura speklowa. Autorzy wykazali eksperymentalnie, że dla mocy powyżej pewnego progu propagacja impulsów laserowych dużej mocy w wyniku efektu Kerra w wielomodowych światłowodach prowadzi do propagacji przestrzennie czystej wiązki wyjściowej, odpornej na naprężenia i na zginanie włókien. Wyjaśniają to spektakularnym zjawiskiem samoorganizacji wiązki wielomodowej, obecnie znane jako zjawisko samoorganizacji Kerra (*Kerr beam self-cleaning*), które znacząco poprawia przestrzenną jakość wiązki na wyjściu z włókna wielomodowego. Ten nieliniowy efekt Kerra ma zdolność do tworzenia bardzo stabilnej, regularnej wiązki kształtem zbliżonej do modu podstawowego światłowodu. Autorzy wykazują, że standardowe włókna wielomodowe (MMF) mogą być wykorzystywane do propagacji wysokiej jakości wiązki impulsowego lasera dużej mocy.

#### Publikacja 4 (4-KK)

R. Guenard, K. Krupa, R. Dupiol, M. Fabert, A. Bendahmane, V. Kermene, A. Desfarges-Barthelemy, J. L. Auguste, A. Tonello, A. Barthélémy, G. Millot, S. Wabnitz, V. Couderc, „Kerr-self cleaning of pulsed beam in ytterbium doped multimode fiber”, *Optics Express* 25, 4783-4792, 2017, DOI: <https://doi.org/10.1364/OE.25.004783>, IF: 3.356; MNiSW: 140, 49 cytowań (WoS), 55 cytowań (Scopus). Udział Pani K. Krupy: Nadzorowanie merytoryczne prac eksperymentalnych; analizowanie danych; dyskusowanie i interpretowanie otrzymanych wyników; korygowanie manuskryptu.

Ta praca dotyczy eksperymentu z propagacją impulsowej wiązki laserowej we wzmacniającym światłowodzie wielomodowym typu *double-clad* domieszkowany iterbem o skokowym profilu współczynnika załamania światła dla dwóch reżymów: włókna biernego i włókna wzmacniającego. Pokazano, że samooczyszczenie modowe wiązki impulsowej w wyniku samoorganizacji Kerra jest znacznie skuteczniejsze, gdy wprowadzi się światłowodowy wzmacniacz. Przedstawiono przekonujące wyniki parametru jakości wiązki laserowej  $M^2$  prowadzonej światłowodem wielomodowym w funkcji mocy wejściowej z wyraźnie zaznaczonym progiem samoorganizacji.

#### Publikacja 5 (5-KK)

D. Ceoldo, K. Krupa, A. Tonello, V. Couderc, D. Modotto, U. Minoni, G. Millot, S. Wabnitz, „Second harmonic generation in multimode graded-index fibers: spatial beam cleaning and multiple harmonic sideband generation”, *Optics Letters*, 42, 971-974, 2017, DOI: <https://doi.org/10.1364/OL.42.000971>, IF: 3.589; MNiSW: 140, 22 cytowań (WoS), 22 cytowań (Scopus). Udział Pani K. Krupy: Pomaganie w przeprowadzaniu eksperymentów; analizowanie danych; dyskusowanie i interpretowanie otrzymanych wyników; korygowanie.

Przeprowadzono badania eksperymentalne i numeryczne, analizy widmowe oraz

dynamikę przestrzenną generowania drugiej harmonicznej w gradientowym światłowodzie wielomodowym. W wielomodowym światłowodzie z gradientowym indeksem pompa może generować serię ostrych pasm bocznych wokół swojej drugiej harmonicznej. Wzajemne oddziaływanie między częstotliwością podstawową i jej drugą harmoniczną może również silnie wpływać na rozkład przestrzenny promieniowania dla obu długości fal: pompy i jej drugiej harmonicznej. Przy zwiększaniu mocy pompy, wiązki wyjściowe zarówno podstawowa, jak i drugiej harmonicznej ewoluują z nieuporządkowanych wielomodowych plamek w dwie wiązki quasi-gaussowskie. Kwadratowa nieliniowość może być wprowadzona w krzemionkowym światłowodzie za pomocą tzw. procesu termopolingu. W pracy zaprezentowano bardzo ciekawy eksperyment tego zjawiska – generacji drugiej harmonicznej bezpośrednio w światłowodzie krzemionkowym bez zewnętrznego elementu nieliniowego.

#### Publikacja 6 (6-KK)

K. Krupa, A. Tonello, V. Couderc, A. Barthélémy, G. Millot, D. Modotto, S. Wabnitz, „Spatiotemporal light-beam compression from complex nonlinear mode coupling”, *Physical Review A* 97, 043836, 2018, DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.97.043836>, IF: 2.907; MNiSW: 100, 31 cytowań (WoS), 32 cytowań (Scopus). Udział Pani K. Krupy: Projektowanie i przeprowadzenie eksperymentów; analizowanie danych; dyskusowanie i interpretowanie otrzymanych wyników; koordynowanie łączenia analizy eksperymentalnej z przeprowadzaniem symulacji numerycznych; przygotowanie manuskryptu i koordynowanie procesu jego publikacji.

Jest to następny etap badań dotyczących nieliniowości wielomodowych światłowodów typu GRIN. W stosunkowo prostym eksperymencie zademonstrowano jednoczesną kompresję przestrzenną i czasową propagacji impulsów. Jest to wynik złożonego mieszania modów poprzecznych w nieliniowych światłowodach wielomodowych. Umożliwia to jednoczesne samoorganizację poprzecznej struktury modowej wiązki ale i kompresję długości impulsów w czasie wstrzykiwanych subnanosekundowych impulsów laserowych. Nieliniowe sprzężenia między modami silnie zależy od chwilowej mocy. Pokazano, że przestrzennemu samoorganizowaniu wiązki (odkrytemu między innymi przez Habilitantkę) w wielomodowych światłowodach GRIN towarzyszy znaczna czasowa zmiana kształtu impulsu i nawet czterokrotne skrócenie jego długości. Ta praca zwraca uwagę na niezmiernie skomplikowaną regułę propagacji, ale też znajduje ciekawe pola uporządkowania propagacji światła.

#### Publikacja 7 (7-KK)

R. Dupiol, K. Krupa, A. Tonello, M. Fabert, D. Modotto, S. Wabnitz, G. Millot, V. Couderc, „Interplay of Kerr and Raman beam cleaning with a multimode microstructure fiber”, *Optics Letters* 43, 587-590, 2018, DOI: <https://doi.org/10.1364/OL.43.000587>, IF: 3.866; MNiSW: 140, 18 cytowań (WoS), 22 cytowań (Scopus). Udział Pani K. Krupy: Nadzorowanie merytoryczne i pomaganie w przeprowadzaniu eksperymentów; analizowanie danych; dyskusowanie i interpretowanie otrzymanych wyników; korygowanie manuskryptu.

Eksperymentalnie badano konkurencję między zjawiskiem samoorganizacji Kerra i wymuszonym rozpraszaniem Ramana w wielomodowym światłowodzie o mikrostrukturze powietrzno-krzemionkowej symulującej gradientową strukturę (wielomodowa fotoniczna struktura bazująca na heksagonalnej strukturze z czystej krzemionki otoczonej przez trzy warstwy powietrznych otworów o wzrastających z promieniem średnicach). Zaprezentowano ewolucję widma promieniowania w funkcji długości światłowodu. W pierwszym odcinku światłowodu (do około 0.5 metra) dominuje mieszanie czterofalowe pomiędzy modami z generacją nowych pasm bocznych Stokesa i anty-Stokesa. Na długości powyżej metra włókna następuje silna generacja wymuszonego rozpraszania Ramana. W miarę wzrostu długości włókna następuje stopniowe poszerzenie się widma w kierunku bliskiej podczerwieni i części widzialnej. Ostatecznie, w wyniku wzajemnego oddziaływania pomiędzy efektem modalnego mieszania czterofalowego oraz wymuszonego rozpraszania Ramana otrzymano *supercontinuum* rozciągające się od 500 nm do 1800 nm. Ta praca stara się ujarzmić ewolucję zjawisk nieliniowych w światłowodzie fotonicznym. I w tym światłowodzie występuje wyraźnie efekt samoorganizowania Kerra ze wzrostem mocy propagowanej wiązki.

#### Publikacja 8 (8-KK)

K. Krupa, G. Garmendia Castaneda, A. Tonello, A. Niang, D. S. Kharenko, M. Fabert, V. Couderc, G. Millot, U. Minoni, D. Modotto, S. Wabnitz, „Nonlinear polarization dynamics of Kerr beam self-cleaning in a graded-index multimode optical fiber”, *Optics Letters* 44, 171, 2019, DOI: <https://doi.org/10.1364/OL.44.000171>, IF: 3.714; MNiSW: 140, 16 cytowań (WoS), 19 cytowań (Scopus). Udział Pani K. Krupy: Planowanie badań i przeprowadzenie eksperymentów; analizowanie danych; dyskusowanie i interpretowanie otrzymanych wyników; przygotowanie manuskryptu i koordynowanie procesu jego publikacji.



To jest bardzo ważna publikacja pokazująca eksperymentalne wyniki dynamiki polaryzacji samoorganizującej wiązki Kerra w światłowodzie wielomodowym typu GRIN. Badano różne parametry polaryzacji wiązki: całkowity stan polaryzacji (SOP, *state of polarization*), stopień polaryzacji DOP (*degree of polarization*), w tym stopień polaryzacji liniowej DOLP (*degree of linear polarization*) i stopień polaryzacji kołowej DOCP (*degree of circular polarization*) z rosnącą mocą wiązki i z długością światłowodu. Pokazano, że przestrzennemu samoorganizowaniu wiązki towarzyszy nieliniowa rotacja polaryzacji i jej znaczny wzrost stopnia polaryzacji liniowej DOPL.

#### Publikacja 9 (9-KK)

Fusaro, J. Garnier, K. Krupa, G. Millot, A. Picozzi, "Dramatic acceleration of wave condensation mediated by disorder in multimode fibers", *Physical Review Letters* 122, 123902, 2019, DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.122.123902>, IF: 8.385; MNiSW: 200, 34 cytowań (WoS), 35 cytowań (Scopus). Udział Pani K. Krupy: Projektowanie i budowanie eksperymentalnego układu; nadzorowanie prac eksperymentalnych; dyskusowanie i interpretowanie otrzymanych wyników; korygowanie manuskryptu.

Jest to praca teoretyczna, gdzie autorzy starają się wyjaśnić zjawisko samoorganizacji Kerra w światłowodach wielomodowych. Klasyczne fale nieliniowe wykazują zjawisko kondensacji, które wynika z naturalnego, nieodwracalnego procesu termalizacji, analogicznie do kwantowej kondensacji Bosego-Einsteina. Kondensacja fal wynika z rozbieżności rozkładu Rayleigha-Jeansa równowagi termodynamicznej. Jednakże osiągnięcie pełnej termalizacji i kondensacji niespójnych fal poprzez nieliniową propagację optyczną wymaga dużych długości interakcji. Wyprowadzono dyskretne równanie kinetyczne opisujące nierównowagową ewolucję fali losowej w obecności strukturalnego zaburzenia ośrodka. To teoretyczne podejście pokazuje, że słabe zaburzenie przyspiesza tempo termalizacji i kondensacji o kilka rzędów wielkości. Takie dramatyczne przyspieszenie kondensacji może stanowić naturalne wyjaśnienie zjawiska samoorganizowania wiązki optycznej. Według autorów wykazano, że wcześniej nierozpoznany proces przyspieszania kondensacji wywołany zaburzeniami może wyjaśnić zjawisko samoorganizowania wiązki optycznej.

#### Publikacja 10 (10-KK)

K. Krupa, V. Couderc, A. Tonello, D. Modotto, A. Barthelemy, G. Millot, S. Wabnitz, "Refractive index profile tailoring of multimode optical fibers for the spatial and spectral shaping of parametric sidebands", *JOSAB* 36, 1117-1126, 2019, DOI: <https://doi.org/10.1364/JOSAB.36.001117>, IF: 2.180; MNiSW: 70, 4 cytowania (WoS), 5 cytowań (Scopus). Udział Pani K. Krupy: Planowanie badań i przeprowadzenie eksperymentów; analizowanie danych; dyskusowanie i interpretowanie otrzymanych wyników; koordynowanie łączenia analizy eksperymentalnej z przeprowadzaniem symulacji numerycznych; przygotowanie manuskryptu i koordynowanie procesu jego publikacji.

Ta publikacja stanowi kontynuację badań nad samoorganizacją modową Kerra i dotyczy wpływu odchylenia profilu współczynnika załamania od idealnego kształtu parabolicznego na kształtowanie czasoprzestrzennej nieliniowej dynamiki fal wielomodowych. Niedoskonałość profilu współczynnika załamania ma bezpośrednie przełożenie na wartości stałych propagacji modów poprzecznych, a zatem na okresowość oscylacji wiązki propagującej się we włóknie wielomodowym. Przeprowadzone badania pokazały, że to odchylenie ma wpływ na zjawisko samoorganizacji Kerra. To się objawia propagacją wyselekcjonowanych modów. Badano światłowód wielomodowy z lokalnym zagłębieniem w parabolicznym profilu współczynnika załamania na dynamikę generacji parametrycznych pasm bocznych niestabilności. Wykazano, że przez odstępstwo od paraboliczności można kształtować przestrzenne i widmowe charakterystyki propagacji wielomodowych fal świetlnych.

#### Publikacja 11 (11-KK)

K. Krupa, A. Tonello, A. Barthélémy, T. Mansuryan, V. Couderc, G. Millot, Ph. Grelu, D. Modotto, S. A. Babin, and S. Wabnitz, "Multimode nonlinear fiber optics, a spatiotemporal avenue", *Invited Perspective paper*, *APL Photonics* 4, 110901, 2019 DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5119434>, IF: 6.547; MNiSW: 200, 101 cytowań (WoS), 131 cytowań (Scopus). Udział Pani K. Krupy: Udział w zidentyfikowaniu i wybraniu źródeł bibliograficznych; usytuowanie wybranych prac badawczych w odpowiednich ramach; przygotowanie części i korygowanie manuskryptu.

Jest to obszerna publikacja przeglądowa zaproszona przedstawiająca perspektywy rozwijającej się optyki nieliniowej w światłowodach wielomodowych. Światłowody te umożliwiają nowe metody do ultraszybkiej, aktywowanej światłem kontroli czasowych, przestrzennych i spektralnych stopni swobody intensywnych, impulsowych wiązek światła, dla szeregu różnych zastosowań technologicznych. Ten przegląd dotyczy podstawowych zagadnień wymienionych poniżej:

- **Modele propagacji i metody numeryczne,**
- **Wielomodowe solitony światłowodowe** (pierwsze modele teoretyczne i przegląd eksperymentów: reżym quasi-jednomodowy, pełny model wielomodowy, światłowody kilku-modowe, generacja fali dyspersyjnej),
- **Przegląd modeli teoretycznych** (jednowymiarowy opis, wieloskładnikowe solitony, ramanowskie solitony w światłowodach wielomodowych typu „step-index”, przestrzenno-czasowe solitony, propagacja w światłowodach wielomodowych typu „hollow-core” i kapilarach),
- **Konwersja częstotliwości** (wewnątrzmodowe mieszanie czterofalowe, geometryczna parametryczna niestabilność, generacja *supercontinuum*, generacja drugiej harmonicznej),
- **Przestrzenne kształtowanie wiązki** (samoorganizacja wiązki poprzez zjawiska rozpraszania i innych zjawisk nieliniowych, samoorganizowanie Kerra w bezstratnych światłowodach wielomodowych, teoria samoorganizacji Kerra, dynamika samoorganizacji Kerra, wielomodowa samoorganizacja Kerra, samoorganizacja Kerra w aktywnych światłowodach wielomodowych),
- **Wielomodowe lasery światłowodowe** (synchronizacja modów poprzecznych, jednomodowa emisja w laserach wielomodowych, wielomodowe ramanowskie lasery światłowodowe z wysmukloną wiązką, wielofalowe lasery światłowodowe z wykorzystaniem efektu samoodtworzenia (self-imaging)),
- **Perspektywy** rozwoju nieliniowych zjawisk w światłowodach wielomodowych (technologie laserowe, technologie światłowodowe, nieliniowa konwersja częstotliwości, kształtowanie wiązki w mikroskopii, spektroskopii, przestrzenne multipleksery, optyczne komputery, czy nauczanie maszynowe. Praca zawiera 204 referencje i jest bardzo dojrzałym przeglądem zagadnień skorelowanych z „wątkiem habilitacyjnym Pani dr Katarzyny Krupy.

#### **Publikacja 12 (12-KK)**

K. Krupa, R. Fona, A. Tonello, A. Labruyère, B. M. Shalaby, S. Wabnitz, F. Baronio, A. B. Aceves, G. Millot, and V. Couderc, “Spatial beam self-cleaning in second-harmonic generation”, *Scientific Reports* 10:7204, 2020DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-64080-7>, IF: 4.379; MNISW: 140, 5 cytowań (WoS), 6 cytowań (Scopus). Udział Pani K. Krupy: Projektowanie eksperymentu; przeprowadzenie i nadzorowanie prac eksperymentalnych; analizowanie danych; dyskusowanie i interpretowanie otrzymanych wyników; korygowanie.

Ta praca prezentuje bardzo spektakularne wyniki przestrzennego samoorganizowania wysoce wielomodowej wiązki optycznej (wiązka z lasera impulsowego przechodząca przez pręt generujący strukturę wielomodową) w procesie generacji drugiej harmonicznej w kwadropolowym nieliniowym kryształach KTP. Jest to zainicjowanie tematyki samoorganizowania na objętościowe ośrodki nieliniowe, niekoniecznie światłowodowe.

### **Ocena osiągnięcia naukowego Habilitantki**

Cykl dwunastu publikacji jest spójny i stanowi logiczny zbiór z dobrze zdefiniowaną myślą przewodnią sformułowaną jako „Złożoność nieliniowej czasowo-przestrzennej dynamiki propagacji wiązki laserowej w optycznych światłowodach wielomodowych”. Należy tu dołączyć obszerny dorobek publikacyjny i konferencyjny spoza „wątku habilitacyjnego” Pani dr Katarzyny Krupy, który w znakomitej większości dotyczy światłowodów i zjawisk nieliniowych. Nie ma wątpliwości, że Pani dr Krupa pracując w zagranicznych ośrodkach inicjowała, projektowała i realizowała prowadzenie prac badawczych wielu tematów badawczych. Habilitantka postawiła Siebie w bardzo trudnym obszarze badań – zjawiska nieliniowe propagowanych wiązek laserowych w światłowodach wielomodowych. Mając do dyspozycji bardzo dobry eksperymentalny warsztat naukowy do analizy struktur czasowo-przestrzennych wiązek laserowych, dostęp do badanych światłowodów i bardzo dobrą wiedzę w podstawach optycznych zjawisk nieliniowych, potrafiła wyłuskać i uporządkować



kilka istotnych zjawisk zachodzących w procesie propagacji impulsowych wiązek laserowych w wielomodowych światłowodach (zwłaszcza typu GRIN).

Istotę osiągnięcia naukowego tego cyklu 12 publikacji oraz całego towarzyszącego dorobku Habilitantki można sformułować następująco:

**jest to innowacyjny, spójny, zestaw oryginalnych wyników dotyczących odkrytych i opisanych przez Panią dr Katarzynę Krupę dwóch zjawisk:**

- geometrycznej niestabilności parametrycznej polegającej na pojawianiu się we włóknie naturalnych oscylacji występujących podczas propagacji wiązki w wielu modach poprzecznych,
- samoorganizacji Kerra wiązki propagowanej w światłowodzie wielomodowym typu GRIN.

Oceniając „istotę osiągnięcia naukowego” stwierdzam, że monotematyczny cykl publikacji poświęcony „Złożoność nieliniowej czasowo-przestrzennej dynamiki propagacji wiązki laserowej w optycznych światłowodach wielomodowych stanowi solidny, spójny i samodzielny zestaw prac naukowych charakteryzujący się oryginalnością i może być uznany za cykl procesu habilitacyjnego. Moja ocena tego osiągnięcia naukowego jest bardzo wysoka. Ponadto nadmieniam, że powyższy cykl publikacji swoją tematyką, zakresem merytorycznym, a także potencjalnymi aplikacjami, stanowi znaczący wkład w rozwój ciągle dynamicznie rozwijającej się fizyki i technologii światłowodów i stanowi inspirację do badania, analizy i kontroli nieliniowych zjawisk w światłowodach wielomodowych.

#### **Ocena aktywności naukowej dr Katarzyny Krupy**

Niewątpliwie kilka koincydencji, to znaczy talent i determinacja Habilitantki, Jej praca w kilku bardzo dobrych ośrodkach zagranicznych dysponujących zapleczem sprzętowym i bardzo dobrze zaawansowaną tematyką sprawiły, że Habilitantka aktywnie i twórczo dokonała ważnych osiągnięć naukowych, dotyczących czasoprzestrzennej dynamiki wiązek laserowych o strukturze wielu modów poprzecznych.

Pani Krupa ma bardzo duże doświadczenie pracując w kilku uniwersytetach zagranicznych (Francja, Włochy), często występuje jako swoisty łącznik zespołów międzynarodowych. Doktorat wspólny na *Universite De Besancon* i Politechnice Warszawskiej, potem pracuje na *Universitete de Limoges, Universite Bourgogne, Universita degli Studi di Brescia*, by od 2019r. wrócić do Polski (Instytut Chemii Fizycznej PAN).

W swoim dorobku naukowym poza wątkiem habilitacyjnym Pani Katarzyna Krupa ma szereg osiągnięć naukowych udokumentowanych w licznych publikacjach:

- badając zjawisko mieszania czterofalowego (*Four-Wave Mixing*) generowanego w światłowodach w kontekście jego potencjalnego zastosowania w optyce kwantowej (*Universitete de Limoges*) oraz badając nowe metody strojenia wstęp bocznego mieszania czterofalowego (Instytut Chemii Fizycznej),
- badając przestrzenne i widmowe kształtowanie wiązki światła w kryształach nieliniowych BBO, KTP i PPLN (*Universitete de Limoges*),
- badając lasery światłowodowe o ultradługiej wnęce na potrzeby kryptografii (*Université de Limoges*),
- badając zjawisko ultraszybkiej dynamiki impulsowych laserów światłowodowych w czasie rzeczywistym (*Université de Bourgogne, Instytut Chemii Fizycznej*),
- badając wymuszone rozpraszanie Ramana w światłowodach *hollow-core* wypełnionych gazem CO<sub>2</sub> (*Université de Bourgogne*).



**Aktywność naukowa** Pani Krupy skutkuje zaproszeniami do uczestnictwa w komitetach naukowych kilku znaczących konferencji: OSA Nonlinear Optics (2020-21), Szkoły Letniej the Siegman International School on Lasers (2022), CLEO/Europe and EQEC (2022-23), IEEE Summer Topical Meeting (2023), CLEO US (2023-24).

**Znamiennym elementem bardzo aktywnej działalności naukowej jest udział Habilitantki w grantach i projektach:**

- na pozycji post-doc w 4 projektach Francuskiej Agencji Naukowej i w jednym ERC,
- na pozycji głównego wykonawcy w grantie Marie Skłodowska-Curie,
- kierownik polsko-francuskiego projektu (NAWA),
- młody lider (Fundacja na Rzecz Nauki Polskiej).

Obecnie prowadzi 3 projekty w Polsce: międzynarodowy projekt NATO (kierownik strony polskiej), kierownik projektu OPUS (NCN), kierownik grantu FENG (FNP).

**To bardzo solidny obraz aktywności naukowej.**

**Habilitantka jest członkiem dwóch towarzystw międzynarodowych:** OSA i SPIE.

Ponad połowę Swojego naukowego życia naukowego Pani Krupa spędziła na stażach zagranicznych (Francja i Włochy).

**Bierze aktywny udział w programach międzynarodowych:**

- polski reprezentant w programie NATO – „Science for Peace and Security”,
- polski reprezentant projektu “European Master for Industry in Microwave Electronics and Photonics (EMIMEP),
- pozycja “Marie Curie Post-doctoral Fellow” w projekcie Horizon 2020,
- pozycja “post-doc” w projekcie European Research Council.

**Działalność dydaktyczna**

Dydaktyka, gdziekolwiek by nie pracowała, jest istotną częścią aktywności akademickiej Pani dr inż. Katarzyny Krupy. I tak:

- pracując w Polsce prowadziła zajęcia na Wydziale Mechatroniki Politechniki Warszawskiej: Fotonika, Optyka eksperymentalna Metody interferometryczne (program Erasmus Mundus, Summer School on “Micro-Optics Measurement & Characterization”),
  - pracując we Francji prowadziła zajęcia: Fotonika, Podstawy fizyki, Optyczne systemy telekomunikacyjne (w języku francuskim) i Optoelektronika (w języku angielskim),
  - w Swoich projektach była Pani dr Krupa przełożoną dwóch „post-doców”,
  - jest promotorem pomocniczym dwojga doktorantów w IChF PAN,
  - jest promotorem jednej pracy magisterskiej UW,
  - była współpromotorem czterech magistrantów (trzech we Włoszech i jeden we Francji),
- Brała udział w komisjach obron doktoratów:
- jako recenzent (Tampere, Finlandia),
  - jako członek komisji (Université Bourgogne, Université de Lille, , Università di Brescia).

**Działalność popularyzująca naukę**

Pani dr Krupa brała udział w wielu popularyzujących naukę imprezach zarówno w Polsce jak i zagranicą (wywiady w telewizji polskiej, w prasie włoskiej, udział w popularyzującym wykładach we Francji, udział w „Naukowych nocach” we Włoszech, „Dniach otwartych” w

Uniwersytecie w Limoges oraz Politechnice Warszawskiej, popularyzacji fotoniki wśród młodzieży uczestnicząc w wystawie *Fascination of The Light*).

## PODSUMOWANIE

Powtarzając wcześniejszą opinię, że „istotą osiągnięcia naukowego” monotematycznego cyklu publikacji pt.: „Złożoność nieliniowej czasowo-przestrzennej dynamiki propagacji wiązki laserowej w optycznych światłowodach wielomodowych” stanowi solidny, spójny i samodzielny zestaw prac naukowych charakteryzujący się oryginalnością i może być on uznany za cykl procesu habilitacyjnego. Moja ocena tego osiągnięcia naukowego jest bardzo wysoka. Ponadto nadmieniam, że powyższy cykl publikacji swoją tematyką, zakresem merytorycznym, a także potencjalnymi aplikacjami, stanowi znaczący wkład w rozwój ciągle dynamicznie rozwijającej się fizyki i technologii światłowodów i stanowi inspirację do badania i analizy i kontroli nieliniowych zjawisk w światłowodach wielomodowych.

Podsumowując dorobek naukowy dr inż. Katarzyny Krupy stwierdzam, że jest on znaczący, innowacyjny, solidny i zauważalny na forum międzynarodowym. Na „istotną aktywność naukową” Habilitantki składa się zestaw oryginalnych wyników opisanych przez Panią dr Katarzynę Krupę dwóch zjawisk w ramach „wątku habilitacyjnego”:  
- geometrycznej niestabilności parametrycznej polegającej na pojawianiu się we włóknie naturalnych oscylacji występujących podczas propagacji wiązki w wielu modach poprzecznych,  
- samoorganizacji Kerra wiązki propagowanej w światłowodzie wielomodowym typu GRIN, a ponadto doceniając nadzwyczaj obszerny dorobek naukowy poza „naukowym wątkiem habilitacyjnym”.

Biorąc pod uwagę dorobek Pani dr inż. Katarzyny Krupy, na który składają się - całokształt działalności naukowo-badawczej, organizacyjnej, dydaktycznej oraz Jej rozprawę habilitacyjną w postaci cyklu publikacji stwierdzam, że dr inż. Katarzyna Krupa w pełni spełnia zgodnie z aktualnymi przepisami warunki stawiane kandydatom do stopnia doktora habilitowanego i wnioskuje o nadanie dr inż. Katarzynie Krupie stopnia naukowego doktora habilitowanego nauk w Dyscyplinie Nauki Fizyczne.

Ponadto, podkreślając wyjątkową naukową aktywność międzynarodową Pani dr Katarzyny Krupy wraz z realną perspektywą, iż Jej aktywność naukowa skupi się teraz na rozwoju polskiej naukowej grupy badawczej, wnioskuje o wyróżnienie tej habilitacji.

