



UNIWERSYTET JAGIELLOŃSKI  
W KRAKOWIE

Szymon Pustelny  
Zakład Fotoniki  
Instytut Fizyki  
Uniwersytet Jagielloński  
Łojasiewicza 11, 30-348 Kraków  
Tel: +48 12 663 4691  
E-mail: [pustelny@uj.edu.pl](mailto:pustelny@uj.edu.pl)

Cambridge, 23 stycznia 2025

## Recenzja wniosku o nadanie stopnia doktora habilitowanego

Pani Katarzynie Krupie

Podstawą przedłożonej mi do recenzji rozprawy habilitacyjnej Pani Dr. Katarzyny Krupy jest osiągnięcie naukowe zatytułowane „Złożoność nieliniowej czasowo-przestrzennej dynamiki propagacji wiązki laserowej w optycznych światłowodach wielomodowych”. Na osiągnięcie składa się cykl 12 prac naukowych poświęconych zjawiskom, do których dochodzi podczas propagacji intensywnego impulsu światła przez włókno światłowodowe. Prace te zostały opublikowane w uznanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym i stanowią istotny wkład w rozwój dziedziny. Oprócz opisu samego osiągnięcia naukowego, w rozprawie znaleźć można również opis kariery zawodowej Pani Krupy, w tym prowadzonej przez nią działalności dydaktycznej i organizacyjnej.

Poniżej skupię się na dyskusji osiągnięcia naukowego, a następnie ustosunkuję się do innych aspektów wniosku.

### Ocena osiągnięcia naukowego

Punktem wyjścia do badań realizowanych przez Panią Dr Katarzynę Krupę są *optyczne zjawiska nieliniowe*. Propagacja intensywnego promieniowania elektromagnetycznego przez ośrodek materialny powoduje, że zmianie ulegają parametry charakteryzujące ten ośrodek. W szczególności, wyindukowanie nieliniowej polaryzacji ośrodka, tj. polaryzacji zależnej od amplitudy pola elektrycznego fali padającej w potęgze wyższej niż jeden, prowadzi do pojawienia się zależnych od amplitudy/natężenia światła współczynników absorpcji i załamania. Istnienie takiej zależności sprawia, że zmianie ulegają parametry propagacji światła w ośrodku. W przypadku światłowodów włóknistych, zmiana profilu współczynnika załamania ma wpływ na zmianę kształtu modów poprzecznych i dyspersji włókna. Może ona również prowadzić do zjawisk takich jak mieszanie czterech fal, w których generowane są nowe częstotliwości światła rozchodzące się w światłowodzie.

Znaczącą część badań Dr. Krupa realizowała w światłowodach wielomodowych o stosunkowo dużym rdzeniu. W tego typu układach najczęściej prowadzonych jest wiele modów poprzecznych charakteryzowanych różnymi stałymi propagacji. Prowadzi to do przypadkowej interferencji międzymodowej, co w konsekwencji sprawia że światło opuszczające włókno ma nieregularny rozkład przestrzenny (powstają tzw. *spekle*) nawet wtedy, gdy włókno pobudzone jest wiązką gaussowską. W swoich badaniach Habilitantka pokazała, że w porównaniu

z propagacją światła ciągłego o stosunkowo niewielkim natężeniu, przy pobudzeniu włókna krótkim impulsem światła o dużej mocy chwilowej dochodzi do znaczącej zmiany profilu poprzecznego natężenia światła opuszczającego włókno. W szczególności, jej badania wykazały, że podczas propagacji rozkład ten zaczyna przypominać podstawowy mod gaussowski. Pani Krupa nazwała to zjawisko samoorganizacją Kerra.<sup>1</sup>

Choć Habilitantka nie stwierdziła tego w swoim wniosku jawnie, opisany powyżej efekt samoorganizacji jest skutkiem dynamicznej równowagi, do której wytworzenia dochodzi podczas propagacji światła w światłowodzie. Równowaga ta dotyczy przestrzennego rozkładu profilu współczynnika załamania i wynika z geometrii i doboru materiałów włókna, w tym przede wszystkim ich wyjściowych, tj. niezależnych od natężenia, współczynników załamania oraz modyfikacji tych współczynników wynikających z optycznych zjawisk nieliniowych. Ponieważ nieliniowe zmiany współczynnika załamania zależą od rozkładu poprzecznego natężenia światła we włóknie, a te ulegają modyfikacji wzdłuż jego długości, w pewnym momencie w układzie dochodzi do wytworzenia warunków dynamicznej równowagi, która wspiera już propagację określonego rozkładu przestrzennego światła. Rzecz jasna, jaki to jest rozkład zależy od profilu współczynnika załamania wzdłuż długości światłowodu a więc od parametrów rozchodzącego się impulsu. Dowodem na to są zamieszczone w rozprawie pomiary profilu współczynnika światła opuszczającego włókno w funkcji natężenia wprowadzanego do niego światła.

W pracach omawianych w ramach osiągnięcia badane były różne typy światłowodów klasycznych, w tym między innymi światłowody krzemionkowe i światłowody domieszkowane, ale także światłowody fotoniczne. W tych pierwszych efekty o których pisze Habilitantka są stosunkowo silne, choć generacja samoorganizacji wymaga przejścia pewnego poziomu progowego natężenia impulsu sprzęganego światła (co jest zrozumiałe ze względu na konieczność wyindukowania odpowiednio silnych nieliniowości w materiale), podczas gdy w światłowodach fotonicznych efekt ten był znacząco słabszy. Również ta druga zależność wydaje się dobrze potwierdzać hipotezę o naturze obserwowanego zjawiska, tzn. wyindukowanie nieliniowości w otworach powietrznych nie jest możliwe i nawet pewne zmiany współczynnika załamania wynikające z propagacji impulsu laserowego w materiale, nie mają istotnego wpływu na zmianę kontrastu tego współczynnika pomiędzy materiałem światłowodu a powietrzem. W tym kontekście nie zgadzam się z pojawiającym się w rozprawie stwierdzeniem, że propagacja powoduje sprzężenie międzymodowe i transfer energii do modu podstawowego (o tym wspomina Pani Krupa), ale raczej uważam, że jest to skutek ww. efektów nieliniowych. W tym miejscu mogę nawet zaproponować pewien sposób weryfikacji tej hipotezy przez pomiar profilu światła opuszczającego światłowód w funkcji takich parametrów jak długość fali, czas trwania impulsu czy czas repetycji. W przypadku kilku z tych parametrów spodziewam się stosunkowo silnej zależności rozkładu przestrzennego światła opuszczającego światłowód.

---

<sup>1</sup> Warto zwrócić uwagę, że podobny efekt znane jest w układach objętościowych od kilkudziesięciu lat i nosi nazwę samoogniskowania się wiązki.

Ciekawym obiektem badań Dr Krupy są zmiany własności spektralnych światła rozchodzącego się w światłowodzie. W szczególności w swoich badaniach Habilitantka pokazała, że widmo rozchodzącego się promieniowania może ulegać znaczącemu poszerzeniu, a nawet może ono być ciągle w zakresie znacznie przekraczającym jedną oktawę. W ten sposób opisane powyżej zjawiska mogą być wykorzystane w generacji superkontinuum. Z drugiej jednak strony badania przeprowadzone przez Panią Krupę w funkcji mocy impulsu czy długości światłowodu wykazały możliwość pojawienia się bifurkacji w spektralnych własnościach propagującego się światła czy nawet mogą prowadzić do pojawienia się dość regularnej struktury spektralnej obejmującej szereg równoodległych „modów” podłużnych. Prawdę powiedziawszy jest to jedna z rzeczy, która po lekturze złożonego osiągnięcia nie jest dla mnie w pełni jasna. Nie wiem bowiem kiedy generowane jest superkontinuum a kiedy struktura „grzebienia” długości fali oraz czy istnieje jakiś sposób kontroli na tym, które ze zjawisk rzeczywiście zachodzi, co mogłoby otwierać drogę do ciekawych zastosowań.

Z uwag bardziej krytycznych dotyczących części merytorycznej, chciałem zwrócić uwagę na dwa aspekty pracy. Lwią część pracy przedstawionej przez Panią Krupę w ramach osiągnięcia są ciekawe i wartościowe badania optyki nieliniowej w światłowodach. W większości przypadków są to badania fenomenologiczne, które czasem poparte są symulacjami numerycznymi. Choć badania te są generalnie „techniczne”, to tego typu podejście stanowi specyfikę obszaru optyki, który Pani Krupa wzięła sobie na warsztat. W tym kontekście nie do końca widzę sens wprowadzonego do rozprawy fragmentu, który dyskutuje omawiane zjawiska odwołując się do języka mechaniki kwantowej i próbuje wykorzystać do jego opisu takie pojęcia jak hamiltonian i hermitowskość. W moim odczuciu jest to niezbyt udane z dwóch powodów. Z jednej strony bowiem fragment ten stanowi „ciało obce” w ciekawym i wewnętrznie spójnym opisie fenomenologicznym. Z drugiej jednak strony nie da się nie dostrzec, że Pani Krupa nie czuje się w tej tematyce pewnie i traktuje go z dużą dozą rezerwy. W moim odczuciu rozprawa nic by nie straciła, gdyby Habilitantka nie zdecydowała się na włączenie tego fragmentu do pracy. Ponieważ jednak to zrobiła, generuje to w czytelniku pewne odczucie „zgrzytu”. Również nie do końca przekonują mnie zastosowania, o których pisze Habilitantka w swojej pracy. Wydaje się, że fragment ten znalazł się w pracy trochę na zasadzie tak powszechnego dziś i do pewnego stopnia oczekiwanego udowodnienia, że prace podstawowe muszą mieć aspekt aplikacyjny. Oczywiście spośród wielu dziedzin współczesnej fizyki, optoelektronika i światłowody są tymi obszarami, które mają największe przełożenie na nasze obecne życie. Z drugiej jednak strony nie wszystkie prace taki aspekt muszą mieć i w tym kontekście uważam, że potencjał zaprezentowanych przez Panią Krupę prac być może istnieje, ale nie jest on zbyt duży. Niemniej jednak próba refleksji i zadania sobie pytania „Do czego to się może przydać?” jest wartościowa, choć prawdopodobnie wymaga większego wysiłku od strony Habilitantki. Reasumując zatem moje uwagi krytyczne w tym kontekście uważam, że Pani Krupa w tym miejscu po prostu przeszarżowała.

Obok samej części merytorycznej osiągnięcia, Habilitantka zaprezentowała we wniosku szereg innych tematów, którymi zajmowała się podczas swojej bogatej kariery zawodowej. W przedłożonej rozprawie pisała ona zatem również o badaniach nad przestrzennym i widmowym kształtowaniem światła propagującego się w krysztale nieliniowym. Bez wątplenia są to tematy bardzo blisko związane z głównym tematem rozprawy i w tym

kontekście stanowiące wartościowe ich uzupełnienie. Na przestrzeni lat, Pani Krupa zajmowała się również rozpraszaniem Ramana w światłowodach z rdzeniem powietrznym, który został wypełniony gazami obcymi czy też prowadziła prace na wykorzystaniem światłowodów do kryptografii. Badania te nie stanowią jednak podstawy wniosku o nadanie stopnia doktora habilitowanego.

W podsumowaniu należy stwierdzić, że dorobek naukowy Pani Dr. Katarzyny Krupy jest znaczący i wartościowy. Duża liczba publikacji, cytowania, wysoki indeks Hirscha, a także aktywność konferencyjna (liczba wygłoszonych referatów i prezentacji plakatowych) świadczą o jej rozpoznawalności w środowisku i stanowią ważny argument w procesie nadawania stopnia doktora habilitowanego. W tym kontekście nie mam najmniejszych wątpliwości, że jest to dorobek predestynujący ją do tego stopnia.

### **Ocena dorobku dydaktycznego i organizacyjnego**

W ramach rozprawy habilitacyjnej, ocenie podlegają również dorobek dydaktyczny i organizacyjny wnioskodawcy. W tym kontekście moja ocena działalności Pani Krupy nie jest tak wysoka jak w przypadku oceny jej dorobku naukowego. W szczególności na przestrzeni 20 lat swojej kariery naukowej prowadziła ona zaledwie trzy kursy dydaktyczne i we wszystkich przypadkach były to zajęcia laboratoryjne. Prawdę powiedziawszy, na tym etapie kariery, i w przypadku osoby z takim dorobkiem naukowym, spodziewałbym się dużo większego „outputu” dydaktycznego. Oczywiście brak takowego może być związany z charakterystyką pracy, którą realizowała. Podejrzewam, że zarówno podczas swoich staży podoktorskich, jak i pracy w Instytutach PAN, oczekiwano od niej przede wszystkim zaangażowania w pracę badawczą. Po części problem ubożego dorobku dydaktycznego rekompensuje zaangażowanie Pani Krupy w opiekę merytoryczną nad studentami i doktorantami. Tym niemniej ten element działalności Pani Krupy pozostawia pewien niedosyt.

Podobny problem mam z działalnością organizacyjną Habilitantki. Jediną rzeczą, którą sama Habilitantka raportuje w tym kontekście jest współorganizacja szkoły letniej w Chęcinach w 2022 r. Nie wiemy jednak w jakim charakterze zaangażowana była w organizację tego wydarzenia. Niestety nie wiemy czy jest takich przedsięwzięć więcej, co sprawia, że ocena działalności organizacyjnej nie może być wysoka. Nie mamy również we wniosku żadnej informacji o prowadzonych przez Panią Krupę grantach. Gdybym nie zadał sobie trudu i nie poszukał tego sam, nigdy bym się nie dowiedział, że Pani Krupa jest kierownikiem grantu NCN. To przysłowiowy „(auto)strzał w kolano” Habilitantki. To jest niedopatrzenie, które jest z pewnością uchybieniem rozprawy.

### **Uwagi niemerytoryczne i edytorskie**

Na koniec zwrócę uwagę na stronę edytorską złożonej rozprawy i fakt pojawienia się w niej dużej liczby błędów edytorskich, stylistycznych czy po prostu pomyłek. Żeby podać kilka przykładów przywołam:

- inna liczba prac przedstawionych w ramach osiągnięcia a inną, którą Habilitantka anonsuje w treści rozprawy (12 vs 13).
- kropki i przecinki stosowane zamiennie w ułamkach dziesiętnych,
- niespójny zapis wartości i jednostek (spacja bez spacji przed jednostką)

- błędne używanie kropki w skrótach,
- literówki.

Za niepotrzebne uważam też włączenie pracy KK-11 do osiągnięcia. Praca ta jest pracą przeglądową, której Habilitantka w ogóle nie dyskutuje w rozprawie,

W kontekście przygotowania strony edytorskiej pracy uważam, że wiele z tych problemów przywołanych powyżej (jest ich zdecydowanie więcej) można by było uniknąć poprzez bardziej uważną edycję pracy.

### **Podsumowanie**

Po uważnej lekturze pracy stwierdzam, że wysoko oceniam przedstawione przez Panią Dr Katarzynę Krupę osiągnięcie naukowe. W moim odczuciu jest to materiał, który kwalifikuje ją do otrzymania stopnia naukowego doktora habilitowanego. Pewne, podniesione przeze mnie zastrzeżenia, dotyczące działalności dydaktycznej i organizacyjnej nie są krytyczne z punktu widzenia samego procesu prowadzonego procesu, dlatego stwierdzam, że przedstawiony mi do recenzji wniosek **spełnia warunki zawarte w art. 219 ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce i wnioskuję o dalsze procedowanie wniosku Pani Katarzyny Krupy.**



Podpisany elektronicznie przez  
Szymon Pustelny  
24.01.2025  
12:22:07 -05'00'

Prof. dr hab. Szymon Pustelny