



dr hab. inż. Wiktor Piecek, prof. ndzw. WAT  
Wydział Nowych Technologii i Chemii  
Wojskowa Akademia Techniczna  
im. J. Dąbrowskiego w Warszawie

Warszawa, 4 października 2018r.

### Recenzja rozprawy doktorskiej

**Pani mgr Klaudii Dradrach**

**pt. *“Wiry fotoniczne – generowanie i właściwości”***

Promotor: Pan prof. dr hab. inż. Stanisław Bartkiewicz  
z Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej

Podstawa opracowania: pismo W3/4020-21/2018, z dnia 30.07.2018 r., które skierował do mnie Prodziekan ds. Nauki Wydziału Chemicznego PWr, Pan prof. dr hab. inż. Wojciech Bartkowiak.

## 1. Zakres, cel i charakter rozprawy

Przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska Pani mgr Klaudii Dradrach została wykonana w Katedrze Inżynierii i Modelowania Materiałów Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej pod opieką naukową Pana prof. dr. hab. inż. Stanisława Bartkiewicza i opublikowana w połowie 2018 roku. Praca mieści się w nurcie badawczym Zespołu naukowego ww. Katedry, który ma ogromne doświadczenie i znaczące osiągnięcia naukowe w dziedzinie badania oddziaływań światło-materia. Osiągnięcia Zespołu, do którego dołączyła Doktorantka, są udokumentowane licznymi publikacjami, patentami i szeroką współpracą naukową z placówkami naukowymi na całym świecie.

Omawiana rozprawa dotyczy sposobów i warunków wytworzenia wirów fotonicznych w cieczach oraz zmierza do wyjaśnienia związków wybranych parametrów obserwowanych zjawisk z właściwościami badanego ośrodka i z parametrami prowadzonego eksperymentu. Problem badawczy, jaki wskazuje Autorka rozprawy to, (cytuję): „...*zrozumienie podstaw fizycznych, które odpowiadają za występowanie indukowanych laserem przepływów strumieni cieczy – wirów fotonicznych*”.

Zachęty do podjęcia przedstawionej tu problematyki badań upatruję we wcześniejszych, inspirujących pracach Zespołu badawczego, do którego dołączyła Doktorantka. Badania zjawisk oddziaływania światło-materia (tu światło-ciecz) mają znaczenie nie tylko użytkowe, ale mają także głębokie znaczenie poznawcze, i to w obszarach wiedzy współcześnie stosunkowo słabo rozpoznanych. Dostrzeżono tu świetny materiał badawczy i ogromny potencjał aplikacyjny efektów oddziaływania światła na ciecz w pobliżu granicy międzyfazowej. Jest to stosunkowo nowe pole

badawcze. Łączą się tu cechy materii w stanie ciekłym, stałym i promieniowania elektromagnetycznego. Takie połączenie daje potencjalne możliwości wykreowania nowych zjawisk, dostarczających narzędzi dla takich dziedzin nauki i technologii jak: biologia, medycyna, technologia chemiczna, technologie nano- i metamateriałowe, fotonika i inne (patrz tegoroczna nagroda Nobla w dziedzinie fizyki). Jak przypuszczam, dodatkową motywacją Doktorantki do realizacji prac badawczych w tym zakresie, było urzekające piękno prezentowanych zjawisk.

Cele pracy, głównie poznawcze, zawarte są już w tytule rozprawy. Dotyczą one odpowiedzi na pytania o to *jakie są istotne zależności warunków generacji i właściwości wytworzonych wirów od materiałów w jakich są generowane, geometrii próbek i warunków prowadzenia eksperymentu.*

Przedmiot badań, postawione cele i treść rozprawy pozwalają mi stwierdzić, że praca ma charakter typowo eksperymentalny. Zagadnienia, które przedstawiono w rozprawie doktorskiej są związane z szeroko rozumianą fizykochemią, czasami z pogranicza inżynierii materiałowej i mogę stwierdzić, że są solidnie oparte o przygotowanie literaturowe i teoretyczne.

## 2. Zawartość pracy i jej dyskusja

Układ omawianej rozprawy doktorskiej jest klasyczny. Praca składa się z trzech głównych części, podzielonych na rozdziały i podrozdziały. Zasadnicza treść rozprawy to 10 rozdziałów. Ponadto, rozprawa zawiera załącznik multimedialny zawierający 10 filmów ilustrujących zjawiska dynamiczne omawiane w rozprawie. Do rozprawy dołączono także załącznik w postaci obszernego raportu nt. wpływu fotostabilności barwnika na generowane wiry. Praca jest opatrzona spisem literatury zawierającym 133 pozycje. Łączna jej objętość to 120 stron. Zawiera ona 33 rysunki, 21 wykresów i 11 tabel. Rozprawa zawiera (w osobnym podrozdziale) spis dorobku naukowego doktorantki, uwzględniający udział Pani mgr Dradrach w 2 projektach badawczych, 3 publikacje w czasopismach o obiegu światowym z wysokim wskaźnikiem *Impact Factor* (Scientific Reports, IF=5.22, Physical Chemistry Chemical Physics, IF=4.49, Applied Physics Letters IF=3.302), 2 współautorskie polskie patenty i wykaz 7 autorskich wystąpień konferencyjnych (w tym 4 wystąpienia na wydarzeniach międzynarodowych i 3 na krajowych).

Wymienione pozycje wskazują na znaczący dorobek publikacyjny Doktorantki, niewątpliwie będący także owocem wysiłków współautorów prac, Panów profesorów Bartkiewicza i Miniewicza.

Pierwsza część rozprawy, rozdziały od 1 do 3 (łącznie 23 strony), przedstawia istotne informacje na temat specyfiki powierzchni rozdzielających różne fazy materii oraz zjawisk, jakie są tam obserwowane. Autorka zamieściła tu komentarz dotyczący różnego typu procesów, w tym procesów wywołanych gradientami naprężeń, temperatur, stężeń i oddziaływaniu światła, występujących w cieczy w pobliżu granicy międzyfazowej. Tę część rozprawy Doktorantka kończy postawieniem wspomnianego powyżej problemu badawczego i konkretnych celów pracy.

Część druga rozprawy, zawiera rozdziały od 2 do 7 (razem 22 strony). Jest to zwięzła analiza stanu wiedzy oraz wprowadzenie formalizmów matematycznych i pojęciowych stosowanych w opisie oraz późniejszej analizie obserwowanych zjawisk. Opis ten, mimo że zwięzły, jest wystarczający w kontekście późniejszej analizy wyników przeprowadzonych eksperymentów. Tu Doktorantka korzysta z metodologii opisu dynamiki płynów, gdzie równania ciągłości i zasady zachowania budują obraz zjawisk dynamicznych. Dołączając do tego zjawiska transportu, dyfuzji i napięcia powierzchniowego, Autorka zbiera tu „narzędzia” do opisu matematycznego obserwowanych zjawisk. Min. na tej bazie Doktorantka opisuje efekt Marangoniego, jako leżący u podstaw interpretacji obserwowanego efektu wiru fotonicznego. W podrozdziale 7.4.1. „Indukowany laserem efekt Marangoniego” znalazłem zwięzły przegląd stanu wiedzy i literatury nt. obserwacji i interpretacji indukowanych światłem zjawisk

dynamicznych w cieczach na granicy faz. Ten fragment rozprawy stanowi stosowne wprowadzenie do zagadnień opisanych w części eksperymentalnej.

Część trzecia – eksperymentalna, raportuje przeprowadzone badania i prezentuje ich wyniki.

W tej części, rozdział 8 rozprawy prezentuje istotne informacje dotyczące materiałów, w tym tensoaktywnych, wykorzystywanych do generacji wirów fonicznych.

Do generacji i badań wirów fonicznych wykorzystano tu fotoczułą pochodną alkoksyzobenzenu, wykazującą dynamikę konformacyjną pod wpływem promieniowania UV (tzw. zjawisko odwracalnej fotoizomeryzacji). Materiał ten jest jednocześnie foto- i termotropowym nematogenem. Wiry optyczne generowano i badano tu wyłącznie w fazie izotropowej.

Następne materiały wykorzystane do badań, to 3 roztwory barwnika (absorbera) pod nazwą „fuksyna”. Badano roztwory fuksyny w wodzie oraz alkoholach; etylowym i metylowym. Absorber kolejnej badanej cieczy to roztwór *para* nitroaniliny (PNA). W pracy są cytowane wyniki badań roztworów PNA w dioksanie, chloroformie, THF (tetrahydrofuranie) i toluenie. Kolejnym materiałem do generacji wirów jest nematogenna mieszanina izotiocyjanianów ozn. W1658. Sposób wykorzystania ww. materiałów do badań określono w Tabeli 2.

Przedstawiony w rozprawie opis układu eksperymentalnego do generacji i obserwacji wirów jest zwięzły i dość przejrzysty, choć mało szczegółowy.

W obszernym rozdziale 9 Autorka prezentuje opatrzone komentarzem wyniki obserwacji wirów optycznych. W opisie geometrii wirów, wiry foniczne są podzielone na dwa zasadnicze rodzaje: wiry w komórkach otwartych i w komórkach zamkniętych.

W podrozdziale 9.1 przedstawiono i wyjaśniono fotoindukowane zjawisko ugięcia powierzchni międzyfazowej, skomentowano obserwacje dotyczące kierunku wirowania cieczy, i co najbardziej mnie interesowało, opisano zjawisko kondensacji materiału fotoabsorbującego w obszarze wiązki oświetlającej oraz proces tworzenia się kropli wewnętrznej. Wiele uwagi Autorka poświęciła obserwacjom zachowania się powierzchni cieczy pod wlewem działania wiązki lasera (diody). Na podstawie szeregu wyników (otrzymanych po licznych badaniach z wykorzystaniem próbek sporządzonych wg specjalnie do tego opracowanego protokołu) opisano tu zjawisko wygięcia powierzchni cieczy pod wpływem wiązki promieniowania. Dodatkowo udokumentowano spektakularny efekt wyrzucania cieczy poza granicę międzyfazową w komórce zamkniętej. Dokonano pomiarów ilościowych tego efektu stwierdzając, że możliwym jest wykorzystanie go do separacji w sposób kontrolowany, skrajnie małych, rzędu  $10^{-3} \text{ mm}^3$ , objętości cieczy.

W podrozdziale 9.2, na podstawie analizy numerycznej filmów, dokonano oszacowania prędkości strumieni cieczy w wirach optycznych. Wykazano istnienie ostrego maksimum prędkości drobin cieczy, gdy poruszają się w pobliżu granicy międzyfazowej (powierzchni cieczy). Efekt ten przekonująco wyjaśniono.

Zbadano wpływ mocy diody i odległości wiązki od granicy międzyfazowej na prędkości strumieni cieczy. Wskazano tu na wartości graniczne ww. wielkości, prowadzące do generacji wirów.

Podrozdział 9.3 zawiera szczegółowy opis badań wpływu grubości komórki, intensywności światła i parametrów fizykochemicznych na amplitudę ugięcia granicy międzyfazowej. Rozważono wpływ napięcia powierzchniowego (tu regulowanego składem mieszaniny) na efekt wygięcia powierzchni międzyfazowej. Opisano te zjawiska wykresami i wskazano na istniejące efekty progowe.

Kolejne podrozdziały traktują o efektach oddziaływania wiązki laserowej na ciecz w komórkach otwartych. Tu zbadano prędkości strumieni w zależności od intensywności promieniowania.

Moim zdaniem, jednym z najbardziej zajmujących fragmentów rozprawy są obserwacje i badania indukowanego laserem wzrostu kropli wewnętrznej. Ten fragment eksperymentu

doprowadził do ustalenia zależności kinetyki wzrostu kropli wewnętrznej od mocy wiązki, rodzaju rozpuszczalnika i jego właściwości reologicznych a także do określenia zespołu warunków sprzyjających efektowi przesuwania kropli wewnętrznej po powierzchni podłoża. Uważam, że opisany mechanizm wzrostu stężenia absorbera wewnątrz kropli wewnętrznej zasługuje na dalsze badania. Warto zaznaczyć jest fakt obserwacji spontanicznego wzrostu kryształu na granicy kropli wewnętrznej. To zjawisko, mimo że wcześniej znane, zasługuje na uwagę badaczy.

Doktorantka, korzystając z doświadczeń Zespołu w którym realizowała badania, eksplorowała efekty oddziaływania światło-materia w pobliżu granicy międzyfazowej bardzo intensywnie. Oprócz wcześniej przedstawionych badań, dotyczących wirów w komórkach otwartych i zamkniętych oraz generowanych tym sposobem kropli, rozprawa zawiera także obserwacje dotyczące zjawiska tworzenia się pęcherzyków gazu w cieczy, warunków ich przemieszczania oraz opis metody dzielenia kropli cieczy.

Główną część rozprawy zamyka podsumowanie ze sformułowaniem wniosków z badań a także spis ważnych dla badań obserwacji. Jest ich aż 11.

Przedstawione w części zasadniczej wyniki uzupełnia materiał badawczy dotyczący wpływu fotostabilności barwnika PNA, stosowanego jako absorber. Badania fotostabilności PNA przeprowadzone metodami spektroskopowymi wykazują jednoznacznie, że podczas eksperymentu mamy do czynienia z fotoindukowanym rozkładem barwnika, którego produkty mają wpływ na obserwowane zjawiska.

Rozprawę zamyka spis literatury uzupełniony wykazem dorobku naukowego Doktorantki. Dane tu zawarte wskazują, że Doktorantka kreatywnie i owocnie wykorzystała czas realizacji doktoratu. Uważam, że staż naukowy w zespole naukowym prof. H. Gleeson (osoby o uznanym autorytecie naukowym), udział w 2 projektach finansowanych przez NCN, 3 współautorskie publikacje z wysokim współczynnikiem oddziaływania i 2 wspólne patenty dowodzą, że Doktorantka wykonała właściwą pracę na tym etapie rozwoju naukowego.

Do najbardziej istotnych osiągnięć omawianej pracy, wnoszących do stanu wiedzy, zaliczam:

- obserwacje i wnioski dotyczące zależności amplitudy wygięcia granicy międzyfazowej od grubości warstw, intensywności oświetlenia, odległości wiązki oświetlającej od granicy międzyfazowej,
- stwierdzenie zależności parametrów wirów optycznych od wielkości napięcia powierzchniowego cieczy,
- obserwacje i analizę parametrów wzrostu kropli wewnętrznej,
- jednoznaczne wskazanie na wpływ fotostabilności barwnika na indukcję i parametry wirów optycznych, uzasadnione szczegółowo w materiale uzupełniającym.

Te i inne wnioski dotyczą bezpośrednio związku obserwowanych zjawisk z parametrami eksperymentu i stanowią realizację celów badawczych postawionych przez Autorkę w pierwszej (wstępnej) części rozprawy.

Rolą recenzenta jest min. zwrócenie uwagi na niedostatki i uchybienia rozprawy przedstawionej do oceny. Poniżej, w osobnym punkcie, zamieszczam listę takich uwag.

### 3. Uwagi szczegółowe

Rozprawa zredagowana jest na ogół przejrzyście i starannie. Język pracy należy uznać za język naukowy. Mimo widocznych wysiłków Autorki, włożonych w proces wykonania i redakcji rozprawy, nie ustrzegła się Ona pewnych niedociągnięć, nieścisłości i pomyłek.

Pozwolę sobie tu wymienić, moim zdaniem najistotniejsze:

- 1) Generalna uwaga dotyczy zbyt ogólnego opisu sposobów prowadzenia obserwacji i pomiarów. Z powodów poznawczych i dokumentacyjnych pożądanym jest bardziej szczegółowy opis warunków prowadzenia eksperymentu.

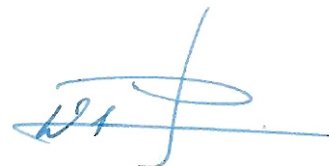
- 2) Często brak jest w tekście istotnych detali, takich jak wskazanie rozpuszczalnika w badanym roztworze czy wskazanie w jakiej fazie prowadzono badania (dotyczy materiałów mezogennych). To powoduje niedostatki w odbiorze wyników prac (patrz np. rys. 16, wykres 15 i inne).
  - 3) Część podpisów pod rysunkami (patrz np. rys. 14, 16, 17, 21 i inne) nie identyfikuje z jakim materiałem pracowano nad prezentowanymi wynikami i nie identyfikuje innych istotnych warunków prowadzenia eksperymentu. Można te informacje wyczytać, a czasem tylko wywnioskować, z tekstu, ale ich brak bezpośrednio w podpisach umniejsza istotną, dokumentacyjną wartość raportu naukowego.
  - 4) Rozdział 8. Dlaczego badano PNA w trzech różnych rozpuszczalnikach? Co wynika z porównania obserwacji eksperymentalnych dla trzech różnych rozpuszczalników ze wspólnym materiałem absorbującym?
  - 5) Za nieadekwatne uznaję wskazanie przebiegu zależności przedstawionych na wykresach za pomocą linii łamanej (patrz wykresy nr 2, 3 i inne).
  - 6) Używanie symbolu literowego, jako podmiotu w zdaniu, należy uznać za gwaraę laboratoryjną, która w finalnym tekście powinna być usunięta wszędzie tam, gdzie nie spowoduje to nadmiernego skomplikowania przekazu.
  - 7) Błąd w nazwie PNA w Tabeli 3.
  - 8) Brak jest charakteryzacji zachowania mezogennego i właściwości fizycznych materiałów mezogennych: mieszaniny ciekłokrystalicznej W1658 i wykorzystanego do badań pochodnej metoksyazobenzenu.
  - 9) Odnotowuję niezręczne stwierdzenie: „...kierunek działania efektu Marangoniego...”.
  - 10) W podrozdziale 9.1 dość ogólnie przedstawiono i wyjaśniono fotoindukowane zjawisko ugięcia powierzchni międzyfazowej.
  - 11) Niedostatkami podrozdziału 9.2 jest niezbyt wyraźne rozdzielanie prezentowanych obserwacji dokonanych dla różnych badanych materiałów.
  - 12) Sposób wykorzystania ww. materiałów do badań wirów fotonicznych, określony w Tabeli 2, podano bez osobnego komentarza. Uważam za niezbędny komentarz, który uzasadniałby taki a nie inny sposób wykorzystania materiałów do badań. Dlaczego nie wykorzystano wybranych materiałów do wszystkich typów badań?
  - 13) Dlaczego nie dokonano porównania wyników eksperymentu dla materiałów mezogennych w fazie izotropowej i fazie nematycznej?
  - 14) W podpisie do rys. 20 nie podano, jakiej objętości i jakiego promienia dotyczy nakreślona zależność.
  - 15) Podpisy pod rys. 21, wykresami 2 i 3 nie identyfikują, dla jakiego materiału dokonano obserwacji.
  - 16) W dopełniaczu liczby mnogiej rzeczownika „podłoże” sugeruję użyć formy „podłoży” zamiast „podłoż” (patrz str. 66, wiersz pierwszy).
  - 17) Wykres 15; w podpisie brak stężenia PNA.
  - 18) Stwierdzam nieliczne błędy literowe i interpunkcyjne w opisie rysunków i wykresów (np. patrz podpisy pod rys. 10, 11, 24, które zaczynają się z małej litery).
- Powyższe uwagi i komentarze należy potraktować jako fragment dyskusji materiału przedstawionego do recenzji. Nie zmieniają one mojej, jak najbardziej pozytywnej, oceny wykonanej pracy.

#### 4. Ocena ogólna rozprawy i wniosek końcowy.

Uznaję, że przedstawiony do oceny materiał badawczy stanowi oryginalny wkład Doktorantki w rozwój badań nad efektami oddziaływania światło-materia. Wysoko oceniam wybór tematyki, dobór metod eksperymentalnych oraz zakres podjętych badań. Doktorantka zmierzyła się z rozległym problemem badawczym. Przy pomocy metod komplementarnych scharakteryzowała obserwowane zjawiska oraz podjęła udane próby interpretacji otrzymanych wyników. Należy podkreślić, że Doktorantka dokonała dużego wysiłku prowadząc szerokie studia literaturowe, co skutkowało właściwym doбором metodyki badań i interpretacją uzyskanych wyników zgodną z aktualnymi doniesieniami literaturowymi. Do najistotniejszych rezultatów recenzowanej pracy, wnoszących do stanu wiedzy, zaliczam te, które są wymienione w punktach 6, 7 i 9 wniosków końcowych (patrz str. 87 i dalsze). Poczynione obserwacje bezpośrednio dotyczą związku badanych zjawisk z parametrami eksperymentu i mają znaczenie praktyczne. Mogę stwierdzić, że aspekt poznawczy pracy jest znaczący i może stanowić bazę do dalszych studiów nad zjawiskami oddziaływania światło-materia.

Chciałbym, by moje uwagi krytyczne pomogły w przyszłym planowaniu badań, analizie wyników i ich rozpowszechnianiu w postaci publikacji lub referatów.

**Uważam, że przedstawiona mi do oceny rozprawa Pani mgr Klaudii Dradrach spełnia wszystkie wymogi formalne i merytoryczne stawiane pracom doktorskim, zawarte w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule naukowym w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595, tekst ujednolicony z dnia 29 września 2014 r.), a także, spełnia zwyczajowe kryteria, wymagane przy ubieganiu się o stopień doktora. Dlatego wnioskuję o dopuszczenie Doktorantki do dalszych etapów przewodu doktorskiego.**



Wiktor Piecek