



dr hab. Ewa Juszyńska-Gałązka, prof. IFJ PAN  
Instytut Fizyki Jądrowej  
im. H. Niewodniczańskiego  
Polskiej Akademii Nauk

Kraków, 22.04.2024

**Recenzja w związku z postępowaniem w sprawie nadania stopnia doktora  
habilitowanego dr Dorocie Dardas w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych  
w dyscyplinie nauki fizyczne**

**Tytuł osiągnięcia naukowego:  
„Efekty wiskoelastyczne w chiralnych ciekłych kryształach ferroelektrycznych  
i antyferroelektrycznych”**

**1/ Podstawowe dane o Kandydatce**

Dr inż. Dorota Dardas uzyskała stopień naukowy doktora nauk fizycznych w Instytucie Fizyki Molekularnej Polskiej Akademii Nauk w Poznaniu 30 maja 2006 roku. Dr inż. Dardas od 1999 roku związana jest z Instytutem Fizyki Molekularnej Polskiej Akademii Nauk w Poznaniu (IFM PAN), gdzie rozpoczęła pracę jak fizyk. Następnie w latach 1999-2006 była doktorantką IFM PAN, gdzie złożyła rozprawę doktorską zatytułowaną „Liniowy i kwadratowy efekt elektrooptyczny w chiralnych smektykach” pod kierunkiem prof. dr. hab. Wojciecha Kuczyńskiego. Stopień doktora nauk fizycznych otrzymała 30 maja 2006 roku. Na stanowisku adiunkta była zatrudniona w latach 2006-2012, 2014-2015 i 2018-2019. Potem na stanowisku asystenta w latach 2019-2022, a od 2022 ponownie na stanowisku adiunkta w Zakładzie Fizyki Ciekłych Kryształów.

Dr inż. Dardas złożyła wniosek (po raz pierwszy), 28 września 2023 roku, o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne wraz z autoreferatem, kopią dyplomu doktorskiego, wykazem osiągnięć naukowych, dydaktycznych i organizacyjnych oraz oświadczeniami współautorów prac, składających się na cykl jednotematycznych artykułów. Zestawione dokumenty stanowią pełną dokumentację, która formalnie spełnia wymogi dla podjęcia procedury.

**2/Informacje o ocenianych osiągnięciach naukowych**

Dr inż. Dardas jako podstawę ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego przedstawiła osiągnięcie naukowe stanowiące cykl powiązanych tematycznie ośmiu publikacji zatytułowany „Efekty wiskoelastyczne w chiralnych ciekłych kryształach ferroelektrycznych i antyferroelektrycznych”. Jednotematyczny cykl prac stanowią artykuły



naukowe opublikowane w czasopismach o zasięgu międzynarodowym zawarte w bazie JCR z indeksacją w bazie Scopus i Web of Science. Dr inż. Dardas jest współautorką 31 publikacji naukowych, w tym w dwóch jest jedynym autorem.

**3/ Ocena osiągnięcia naukowego osoby ubiegającej się o stopień doktora habilitowanego odpowiadają wymaganiom określonym w art. 219 ust. 1 pkt 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.**

Zagadnienia, które dotyczą cyklu prac stanowią opis i analizę własności sprężystych, elastyczności i lepkości, efektu elektrooptycznego, efektu nieliniowego czy też możliwość przełączania dla chiralnych ciekłych kryształów z ferro- i antyferroelektrycznymi fazami smektycznymi.

Badano grupę chiralnych ciekłych kryształów o wysokotemperaturowych mezofazach cieczopodobnych jak i typu krystalicznego:

- 4-metylobutyloksyfenylo-4-oktyloksy-benzoesan (o akronimie C8) [H1, H2, H5],
- 4-(1-metylo-heptyloksykarbonylo)fenylo 4'-(3-butanoiloksypropylo-1-oksy)bifenylo-4-karboksylan (o akronimie D12) [H3, H4],
- 4-(n-heksyloksyfenylo)-1-(2-fuetylobutylo)bifenylo-4-karboksylan (o akronimie Ce-3) [H6, H7],
- 4 -(2-metylobutylo)fenylo-4-n-oktylobifenylo-4-karboksylan (o akronimie Ce-8) [H6, H7],
- 4-(1-metyloheptyloksykalbonylo)fenylo 4'-oktyloksybifenylo-4-karboksylan (o akronimie MHPOBC) [H8],
- oraz mieszaninę o akronimie Ce3/Ce8 w stosunku wagowym 50:50.

Prawie wszystkie badane substancje to chiralne ciekłe kryształy, których molekuly stanowią trójpierścieniowe rdzenie, poza próbką C8 posiadającą dwupierścieniowy rdzeń, które łączy grupa COO oraz łańcuchach alifatycznych z centrum chiralnym w jednym z nich. Opracowana została metoda pomiaru i wyznaczania natężenia światła padającego i przesunięcia w fazie pomiędzy promieniem zwyczajnym oraz nadzwyczajnym. Zaproponowana metoda kalibracji odpowiedzi elektrooptycznej przyniosła szereg temperaturowych wyników ważnych dla określenia liniowych i nieliniowych efektów występujących w mezofazach chiralnych ciekłych kryształów. Dr inż. Dorota Dardas zaproponowała opis fenomenologiczny oraz ilościowy zjawisk elektrooptycznych w tym separacji pierwszej i drugiej harmonicznej odpowiedzi elektrooptycznej oraz wyznaczania bezwzględnych wartości współczynnika sprężystości i lepkości w słabym polu elektrycznym. Ponadto, w celu wyznaczenia wartości współczynnika lepkości rotacyjnej oraz stałej sprężystości skrętnej dla ferro- i antyferroelektrycznych faz ciekłych kryształów wykonano pomiary polaryzacji spontanicznej, skoku śruby, kąta pochylenia i czasy relaksacji molekuł oraz liniowy współczynnik elektrooptyczny. Nadto prowadzone były badania



temperaturowych zależności anizotropii optycznej metodą fotoelastycznej modulacji światła (PEM) w ciekłych kryształach z fazami nematycznymi (będącej wzorcem) oraz fotoaktywnych azowych ciekłych kryształach. Również prowadzone były badania dwójłomności optycznej w fazach smektycznych i antyferroelektrycznych ciekłych kryształów metodą PEM.

W pracach [H1, H2] opisano wyniki badań polaryzacji spontanicznej dla próbki o akronimie C8, która została przygotowana przy zastosowaniu homeotropowych komórek pomiarowych (dla dość znacznej grubości próbki tj. 30mm). Grubość próbki została tak dobrana aby zapobiec deformacji struktury helikalnej (spowodowanej silnymi oddziaływaniami powierzchniowymi). Wyznaczono współczynnik lepkości rotacyjnej  $\gamma$  [H1] oraz współczynnik sprężystości  $K_j$  [H2], poprzez analizę zachowania c-direktora w fazach o strukturze helikalnej. Pomiary przeprowadzono metodą detekcji optycznej w granicy małych odkształceń. Stwierdzono krytyczną zależność temperaturową mierzonych współczynników. Pokazano zależność pomiędzy zmierzonym współczynnikiem lepkości rotacyjnej a parametrem porządku smektyka  $C^*$ .

Postępy badań nad sąsiadującymi fazami  $SmC^*$  i  $SmA^*$  można dalej śledzić w pracy [H2], gdzie opisano metodę wyznaczania wartości współczynnika sprężystości  $K_j$  dla fazy  $SmC^*$  dla próbek litych. Pomiary przeprowadzono również metodą detekcji optycznej w małej granicy odkształceń. Zaobserwowano krytyczną zależność temperaturową mierzonego współczynnika sprężystości  $K_j$ . Przedstawiono związek pomiędzy mierzonym parametrem a parametrem porządku fazy smektycznej  $C$ .

W pracy [H3], gdzie dr inż. D. Dardas jest autorem korespondencyjnym, zostały opisane badane zjawiska elektrooptyczne wywołane słabymi polami elektrycznymi substancji D12 (z mezofazami antyferroelektrycznymi), o wartościach znacznie mniejszych od potrzebnych do rozwinięcia helisy, w helikalmektycznych ciekłych kryształach w cienkich, płaskich próbkach. Odkryto, że pole elektryczne przyłożone do próbki, w określonym stanie termodynamicznym, powoduje dwa efekty. W pierwszej kolejności zdeformowano helisę i zmieniono położenie efektywnej osi optycznej o kąt proporcjonalny do natężenia pola. Kwadratowy efekt elektrooptyczny powoduje zmianę kształtu wskaźnika. W konsekwencji względne zmiany natężenia światła wywołane zewnętrznym polem elektrycznym charakteryzują się dwiema składowymi. Pierwsza składowa reprezentuje podstawową modulację częstotliwością, a druga częstotliwością podwojoną (druga harmoniczna efektu elektrooptycznego). Wyznaczono wartości bezwzględne współczynników elektrooptycznych pierwszego i drugiego rzędu oraz omówiono ich zależność temperaturową. Efekt liniowy wynika ze zmiany położenia osi optycznej. Zastosowana procedura kalibracyjna pozwoliła wyznaczyć wartości bezwzględne współczynników liniowych i kwadratowych. Liniowy współczynnik elektrooptyczny jest prawie niezależny od temperatury w fazie  $SmC_A^*$ , przyjmując małe wartości w porównaniu z wartościami zmierzonymi w fazie ferroelektrycznej  $SmC^*$ . Wynika to z (średnio) antyrównoległego nachylenia molekuł w sąsiednich warstwach, co powoduje, że polaryzacja spontaniczna (sumarycznie) przyjmuje wartości bliskie zero. Zaobserwowany silny efekt kwadratowy wynika głównie ze sprzężenia pola elektrycznego z momentem dipolowym molekuly.



W paraelektrycznej fazie smektycznej A, ze względu na brak struktury helikalnej, zmiana wskaźnika wywołana polem elektrycznym jest „pomijalna”, a kwadratowy współczynnik elektrooptyczny zanika. Właściwość ta może służyć jako precyzyjny wyznacznik przejścia fazowego  $\text{SmC}_A^* - \text{SmA}$ , które w niektórych przypadkach jest ledwo zauważalne.

Natomiast w pracy [H4], gdzie również autorem korespondencyjnym jest dr inż. Dorota Dardas opisano elektrooptyczną metodę wyznaczania skrętno-sprężystego sprzężenia pomiędzy warstwami smektycznymi w antyferroelektrycznym ciekłym kryształ D12, umieszczonym w komórkach o planarnym uporządkowaniu molekuł. Metoda ta opiera się na procedurze kalibracyjnej, która umożliwia odniesienie modulacji natężenia światła pod zmiennym przyłożonym polem elektrycznym do odpowiedniej modulacji spowodowanej mechanicznymi oscylacjami próbki. Wykazano, że zaproponowana metoda wyznaczania stałej sprężystości skrętu dla antyferroelektrycznej fazy ciekłego kryształu jest bardzo skuteczna. Jak można się spodziewać, stała sprężystości drastycznie zmienia się w temperaturze przejścia fazowego z fazy antyferroelektrycznej  $\text{SmC}_A^*$  do fazy ferroelektrycznej  $\text{SmA}$ .

Cennym jest porównanie wyników wiskoelastycznych dla chiralnych ciekłych kryształów pokazane w pracy [H5], gdyż znajomość parametrów materiałowych związanych z mikroskopową strukturą tych substancji jest jednym z głównych problemów w konstrukcji urządzeń wykorzystujących związki ciekłokrystaliczne. W przypadku ferroelektrycznych ciekłych kryształów bardzo istotne są właściwości lepkosprężyste, które decydują o szybkości przełączania i napięciu progowym wyświetlaczy. Istnieje kilka eksperymentalnych metod pomiaru stałych lepkości i elastyczności w fazach o pochylonych molekułach (fazach smektycznych), które wykorzystują różne zjawiska do wykrywania deformacji, np. transmisję światła, polaryzację, modulację światła, stałą dielektryczną oraz odkształcenie lub rozwijanie helisy. Porównano wyniki pomiarów uzyskane dla tego samego materiału różnymi metodami. Doświadczenia wykazały, że prawidłowe wartości wspomnianych stałych materiałowych można wyznaczyć jedynie na podstawie „grubych” próbek, o homeotropowym uporządkowaniu molekuł.

W monoautorskich pracach [H6, H7] opisane są własności binarnych mieszanin ciekłokrystalicznych 4-(n-heksyloksyfenylo)-1-(2-fuetylobutylo)bifenilo-4-karboksylan oraz 4-(2-metylobutylo)fenylo-4-n-oktylobifenilo-4-karboksylan, w stosunku wagowym 50:50. To niewątpliwy postęp w prowadzonych przez dr inż. Dardas pracach badawczych pod kątem możliwych zastosowań przemysłowych badanych mieszanin. W przypadku ciekłych kryształów zastosowania aplikacyjnie mają ich mieszaniny. Zapewnia to stabilność mieszanin ciekłokrystalicznych, a w szczególności stabilność jak i trwałość pożądanej fazy termodynamicznej / stanu termodynamicznego. W przypadku mieszanin problemami mogą być: odpowiedni dobór stosunku wagowego, co może mieć wpływ na własności w tym zakresy temperaturowe czy występowanie danych faz termodynamicznych. Obydwa składniki mieszaniny wykazują polimezomorfizm i właściwości ferroelektryczne w stosunkowo szerokim zakresie temperatur [H6]. Określono wpływ temperatury na właściwości elektrooptyczne i lepkosprężyste otrzymanej mieszaniny dwuskładnikowej. Praca [H7] dotyczy wyznaczania współczynnika lepkosprężystości w chiralnych smektycznych ciekłych





kryształach o strukturze helikalnej i stanowi kontynuację pracy [H6], w której wyznaczono współczynnik sprężystości. Pomiary przeprowadzono metodą detekcji optycznej w granicy małych odkształceń. Współczynnik lepkości zmierzono dla dwóch dostępnych na rynku czystych materiałów chiralnych, mianowicie 4-(n-heksyloksyfenylo)-1-(2-fuetylobutylo)bifenilo-4-karboksylanu oraz 4-(2-metylobutylo)fenylo-4-n-oktylobifenilo-4-karboksylan i otrzymaną mieszaninę binarną złożoną z tych materiałów w stosunku wagowym 50:50. Wszystkie trzy materiały ciekłokrystaliczne wykazują fazę ferroelektryczną w stosunkowo szerokim zakresie temperatur. Projektowanie mieszaniny binarnej o określonym stężeniu wagowym, miało na celu poprawienie właściwości próbki ciekłokrystalicznej w odpowiednim stanie termodynamicznym. Ustalony został skład mieszaniny do określenia właściwości lepkosprężystych.

Wyniki badań uzyskanych dla mieszanin opisane w pracy [H8] niewątpliwie poszerzają wiedzę o zastosowaniach fluorescencyjnej konfokalnej mikroskopii polaryzacyjnej i właściwościach optycznych materiałów ciekłokrystalicznych. Stabilizacja układu oraz kontrola poziomu szarości próbki uzyskanej za pomocą fotowysbielania laserowego może zaowocować nowymi rozwiązaniami w dziedzinie optoelektroniki, adresowania i odczytu danych. Określenie własności charakterystycznych parametrów lepkosprężystych jest istotne nie tylko dla faz ferroelektrycznych i antyferroelektrycznych, lecz również niezmiernie rzadko występującej fazy niebieskiej (ang. *blue phase*). Celem pracy [H8] była analiza wpływu fotowysbielania laserowego na właściwości elektrooptyczne mieszanin na bazie dobrze znanego ciekłego kryształu MHPOBC domieszkowanego 0,1% wag. barwnika fluorescencyjnego DANS oraz 0,5% wag. nanocząstek złota. O doborze domieszki i jej stężeniu decydowała zasada „gość-gospodarz”. Cząsteczki barwnika mają kształt zbliżony do kształtu cząsteczek ciekłych kryształów, a wielkość nanocząstek złota jest porównywalna z długością cząsteczki ciekłego kryształu. Zarówno ilość barwnika, jak i nanocząstek nie zmieniała struktury matrycy ciekłokrystalicznej. Wiadomo, że liczba, charakter i kolejność przejść fazowych determinują właściwości lepkosprężyste fazy ciekłokrystalicznej. Przeanalizowano wyniki uzyskane metodą mikroskopii konfokalnej w funkcji głębokości próbki. Określony został wpływ procesu stabilizacji izolowanego obszaru metodą kontrolowanego fotowysbielania laserowego na właściwości elektrooptyczne. Obserwację przeprowadzono za pomocą mikroskopu polaryzacyjnego oraz przeprowadzono analizę numeryczną dwuwymiarowych kolorowych tekstur. Uzyskane wyniki sugerują, że fotowysbielanie laserowe może wywołać efekt zakotwiczenia, co pozytywnie wpływa na właściwości elektrooptyczne antyferroelektrycznego ciekłego kryształu. W metodzie fotowysbielania laserowego (znanej również jako fotospalanie) istotnym jest wpływ natężenia światła przechodzącego przez materiał ciekłokrystaliczny, lecz co ważne nie zmieniano jego struktury ani uporządkowania. Chociaż fotowysbielanie laserowe przeprowadzono przy maksymalnej mocy dostępnych laserów, nie zaobserwowano efektu zniszczenia fotochemicznego. Fotowysbielanie laserowe ciekłych kryształów powoduje długoterminową stabilizację całego układu, a metoda ta może być stosowana do stabilizacji metastabilnych stanów mezofaz ciekłokrystalicznych.



**4/ Potwierdzenie, że Kandydatka wykazuje się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.**

Habilitantka realizowała projekty naukowo-badawcze w takich ośrodkach jak:

- Landau Institute for Theoretical Physics, Moskwa, Rosja (27 dni) – w ramach projektu PAN-RAN 2011-2013;
- Institut für Physikalische Chemie, Technische Universität Stuttgart, Niemcy (7 dni);
- Instytut Fizyki Czeskiej Akademii Nauk, Praga, Czechy (łącznie 30 dni) – realizacja projektów bilateralnych PAN-CzAN 2010-2012, 2014-2016, 2016-2018;
- Jozef Stefan Institute, Lublana, Słowenia (11 dni) – realizacja projektów bilateralnych PAN-SAZU;
- National Institute of Materials Physics Laboratory of Functional Nanostructures, Budapeszt, Rumunia – realizacja projektu bilateralnego PAN-RAN (10 dni).

Ponadto, współpraca (z krótkimi pobytami naukowymi) z grupami badawczymi z Uniwersytetu Jagiellońskiego, Uniwersytetu Wrocławskiego, Wojskowej Akademii Technicznej oraz Politechniki Poznańskiej.

**5/ Informacje o osiągnięciach Habilitantki w zakresie działalności dydaktycznej, organizacyjnej i popularyzacyjnej naukę.**

Działalność dydaktyczna to:

- promotor pomocniczy rozprawy doktorskiej z 2023 roku,
- promotor pracy magisterskiej w 2023 roku,
- promotor pracy inżynierskiej w 2022 roku.

Prowadzenie pracowni specjalistycznych (w zakresie po 100 h/semestr):

- magisterskiej w 2022 roku,
- inżynierskiej w 2021 roku,
- opiekun pracowni specjalistycznej w 2008 roku.

Dr inż. Dardas prowadziła wakacyjne praktyki studenckie po 160 godzin w 2020, 2019 i 2015 roku oraz 40 godzin w 2011 roku. Ponadto, bardzo aktywnie podejmowała działalność propagowania nauki wśród dzieci i młodzieży. Jest członkiem komitetu naukowego Interdyscyplinarnych Konferencji pod patronatem *Fundacji na rzecz nauki i rozwoju Tygiel*. Dr inż. Dorota Dardas zaangażowana we współorganizację między innymi: Nocy Naukowców, Poznańskiego Festiwalu Nauki i Sztuki. Popularyzacja nauki została doceniona poprzez nominację do Nagrody Polskiego Towarzystwa Fizycznego przez Poznański oddział PTF.



**6/ Wniosek końcowy**

Przedstawiona do recenzji dokumentacja dorobku naukowego dr inż. Doroty Dardas moim zadaniem spełnia wymagania stawiane w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego wynikające z art. 219 ust. 1 pkt 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. W związku z powyższym istnieją podstawy do podjęcia dalszych czynności postępowania w sprawie nadania Pani dr inż. Dorocie Dardas stopnia naukowego doktora habilitowanego.

/podpisała: dr hab. Ewa Juszyńska-Gałązka, prof. IFJ PAN/

Ewa Juszyńska-Gałązka