



## Instytut Fizyki Molekularnej Polskiej Akademii Nauk

Mariana Smoluchowskiego 17, 60-179 Poznań

tel. 61 8695 100, 234, faks 61 8684 524

[www.ifmpan.poznan.pl](http://www.ifmpan.poznan.pl)

---

### Efekty viskoelastyczne w chiralnych ciekłych kryształach ferroelektrycznych i antyferroelektrycznych

#### Autoreferat

1. Imię i nazwisko.

Dorota Dardas

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

#### WYKSZTAŁCENIE

15.04.1999 - tytuł magistra inżyniera, specjalizacja: Fizyka Materiałów i Nanotechnologie, Politechnika Poznańska Wydział Fizyki Technicznej.

Tytuł pracy: *Badanie elektrooptycznych własności antyferroelektrycznego ciekłego kryształu.*

Promotor: prof. dr hab. Wojciech Kuczyński

30.05.2006 - tytuł **doktora nauk fizycznych** nadany uchwałą **Rady Naukowej Instytutu Fizyki Molekularnej Polskiej Akademii Nauk.**

Tytuł rozprawy doktorskiej.: *Liniowy i kwadratowy efekt elektrooptyczny w chiralnych smektykach.*

Promotor: prof. dr hab. Wojciech Kuczyński

*Główna Słownictwa*  
za zgodność z oryginałem  
25.09.2023

Instytut Fizyki Molekularnej  
Polskiej Akademii Nauk  
ul. Mariana Smoluchowskiego 17  
60-179 Poznań, tel. 61-86-95-100  
Regon 000897999 • NIP 777-00-20-870

RZECZPOSPOLITA POLSKA

POLSKA AKADEMIA NAUK

*Instytut Fizyki Molekularnej*

DYPLOM

*Dorota Dardas*

urodzona dnia *22 marca 1974* r. w *Poznanin*  
na podstawie przedstawionej rozprawy doktorskiej

*Linijowy i kwadratowy efekt elektrooptyczny  
w chiralnych smektykach*

oraz po złożeniu wymaganych egzaminów uzyskała stopień naukowy

DOKTORA

nauk

*Fizycznych; Fizyka*

nadany uchwałą Rady

*Naukowej*

*Instytutu Fizyki Molekularnej P.A.N.*

z dnia

*30 maja 2006* r.

Promotor w przewodzie doktorskim:

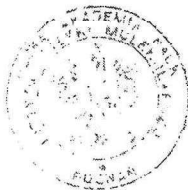
*prof. dr hab. Wojciech Kuczyński*

Recenzenci w przewodzie doktorskim:

*prof. dr hab. Jan Jachym*  
*dr hab. Jerzy Kedzierski*

*[Signature]*  
PRZEWODNICZĄCY RADY NAUKOWEJ

*prof. dr hab. Jan Stankowski*



*[Signature]*  
DYREKTOR INSTYTUTU

*prof. dr hab. Andrzej Jesiński*



## DODATKOWE WYKSZTAŁCENIE

Studium Pedagogiczne, Studia Podyplomowe: „Oligofrenopedagogika - edukacja i rehabilitacja osób z niepełnosprawnością intelektualną”.

## DODATKOWE SZKOLENIA I UMIEJĘTNOŚCI

- Asystent osoby niepełnosprawnej, 30 h, kurs kompetencji ogólnych, Centrum Rozwoju Personalnego, Wrocław 2023;
- Terapia dziecka z autyzmem, 30 h, kurs kompetencji ogólnych, Centrum Rozwoju Personalnego, Wrocław 2017;
- Autyzm w szkole- o podążaniu za uczniem z ofertą edukacyjną, konferencja naukowo-szkoleniowa, 10 h, Poznań 2016;
- Terapia kognitywna: techniki terapeutyczne, 14 h, Fundacja Prodeste, Opole, 2016;
- Wspomaganie rozwoju dzieci ze specyficznymi trudnościami w nauce – program szkolny, wg integracji odruchów dr Sally Goddard, 16 h, Instytut Neurofizjologii i Psychologii POLSKA, 2016;
- Techniki edukacyjne i wychowawcze w pracy z uczniem ze spektrum autyzmu, 13 h, Poznań, 2010;
- Wiem, rozumiem, pomogę, szkolenie dla osób pracujących z dziećmi z Zespołem Aspergera, 10 h, Poznań, 2007;
- Diagnoza i terapia dzieci z deficytami rozwojowymi, cz. 2.”, Niepubliczne Centrum Edukacji Pedagogicznej PCTP w Koszalinie, 2007;
- Zajęcia doskonalące komunikację, warsztaty „Szkola dla Rodziców”, 10 h, 2007;
- Metoda Montessorii, Centrum Uśmiechu Dziecka w Poznaniu, szkolenie wprowadzające 8 h, 2007;
- Diagnoza i terapia dzieci z deficytami rozwojowymi, Niepubliczne Centrum Edukacji Pedagogicznej PCTP w Koszalinie, 10 h, 2006.

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.

## DOŚWIADCZENIE ZAWODOWE

1999 Fizyk, Instytut Fizyki Molekularnej PAN w Poznaniu  
1999-2006 Doktorant, Instytut Fizyki Molekularnej PAN w Poznaniu  
2000-2001 przerwa w pracy naukowej (ciąża i urlop macierzyński)  
2006 -2012 Adiunkt, pracownik naukowy, Instytut Fizyki Molekularnej PAN  
2013-2014 przerwa w pracy naukowej (ciąża i urlop macierzyński)  
2014-2015 Adiunkt, pracownik naukowy-fizyk, Instytut Fizyki Molekularnej PAN  
2015-2017 przerwa w pracy naukowej (niezdolność do pracy z powodów zdrowotnych)  
2018-2019 Adiunkt, pracownik naukowy, Instytut Fizyki Molekularnej PAN  
2019-2022 Asystent, pracownik naukowy, Instytut Fizyki Molekularnej PAN  
od 2022 Adiunkt, pracownik naukowy, Instytut Fizyki Molekularnej PAN

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.). Omówienie to winno dotyczyć merytorycznego ujęcia przedmiotowych osiągnięć, jak i w sposób precyzyjny określać indywidualny wkład w ich powstanie, w przypadku, gdy dane osiągnięcie jest dziełem współautorskim, z uwzględnieniem możliwości wskazywania dorobku z okresu całej kariery zawodowej.

Cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2b ustawy składa się na osiągnięcie pod tytułem:

***Efekty viskoelastyczne w chiralnych ciekłych kryształach ferroelektrycznych i antyferroelektrycznych***

Artykuły wchodzące w skład cyklu:

- [H1] W. Kuczyński, **D. Dardas**, K. Nowicka, *Determination of the bulk rotational viscosity coefficient in a chiral smectic C\* liquid crystal*, Phase Transitions 82(6), 444-451, 2009
- [H2] W. Kuczyński, K. Nowicka, **D. Dardas**, W. Jeżewski, J. Hoffmann, *Determination of bulk values of twist elasticity coefficient in a chiral smectic C\* liquid Crystal*, Opto-Electronics Review 18(2), 176-180, 2010
- [H3] **D. Dardas**, W. Kuczyński, J. Hoffmann, W. Jeżewski, K. Nowicka, J. Małecki, *Non-linear electrooptic effect in antiferroelectric liquid crystal*, Opto-Electronics Review 17(1), 25-29, 2009
- [H4] **D. Dardas**, W. Kuczyński, J. Hoffmann, W. Jeżewski, *Determination of twist elastic constant in antiferroelectric liquid crystals*, Measurement Science and Technology 22, 085707, 2011
- [H5] W. Kuczyński, **D. Dardas**, J. Hoffmann, K. Nowicka, W. Jeżewski, *Comparison of methods for determination of the viscoelastic properties in chiral smectics C\**, Phase Transitions 85(4), 358-363, 2012
- [H6] **D. Dardas**, *Electro-optic and viscoelastic properties of a ferroelectric liquid crystalline binary mixture*, Phase Transitions 89 (4), 368-375, 2016
- [H7] **D. Dardas**, *Tuning the electro-optic and viscoelastic properties of ferroelectric liquid crystalline materials*, Rheologica Acta 58, 193–201, 2019
- [H8] **D. Dardas**, S. Lalik, Z. Nowacka, T. Yevchenko, M. Marzec, *Electro-Optic Effect of Laser Photobleaching on Viscoelastic Properties of Chiral Liquid Crystals*, Crystals 13(2), 164, 2023

## **Zaangażowanie w przygotowanie publikacji**

[H1] W tej pracy moim udziałem było przygotowanie komórek pomiarowych, uzyskanie jednorodnej tekstury homeotropowej w badanych próbkach, wykonanie części pomiarów samodzielnie, a część pomiarów w asyście (W. Kuczyński), wykonanie wykresów i uzyskanie ostatecznego wyniku lepkości rotacyjnej, brałam też czynny udział w powstaniu pierwszej wersji manuskryptu.

[H2] W tej pracy moim udziałem było przygotowanie komórek pomiarowych, uzyskanie jednorodnej tekstury homeotropowej w badanych próbkach, wykonanie części pomiarów samodzielnie, a część pomiarów w asyście (W. Kuczyński, J. Hoffmann), wykonanie wykresów i uzyskanie ostatecznego wyniku sprężystości rotacyjnej, brałam też czynny udział w powstaniu pierwszej wersji manuskryptu.

[H3] Mój udział w tej pracy polegał na przygotowaniu komórek pomiarowych, wykonaniu pomiarów, opracowaniu wyników, przygotowaniu wstępnej wersji manuskryptu.

[H4] Mój udział w tej pracy polegał na powstaniu inicjatywy wykorzystania możliwości kalibracji odpowiedzi elektrooptycznej do wyznaczania własności lepkosprężystych chiralnych ciekłych kryształów, wykonaniu obliczeń, pomiarów, wykresów i przygotowaniu pierwotnej wersji manuskryptu.

[H5] W tej pracy moim udziałem było przygotowanie komórek pomiarowych planarnych (komercyjnych), wykonanie komórki homeotropowej, uzyskanie jednorodnej tekstury homeotropowej w badanych próbkach, wykonanie części pomiarów samodzielnie, a część pomiarów ze wsparciem (W. Kuczyński, J. Hoffmann), wykonanie wykresów i uzyskanie ostatecznego wyniku sprężystości rotacyjnej, brałam też czynny udział w powstaniu pierwszej wersji manuskryptu.

[H6] Mój udział polegał na przygotowaniu koncepcji pracy, wykonaniu pomiarów, analizie wyników, przygotowaniu wykresów, napisaniu manuskryptu, przygotowaniu do wydawnictwa, odpowiedzi recenzentom.

[H7] Mój udział polegał na przygotowaniu koncepcji pracy, wykonaniu pomiarów, analizie wyników, przygotowaniu wykresów, napisaniu manuskryptu, przygotowaniu do wydawnictwa, odpowiedzi recenzentom.

[H8] Mój udział polegał na opracowaniu koncepcji pracy, metodologii, sprawdzaniu poprawności, opracowaniu i analizie wyników, przygotowaniu wykresów, opracowaniu i przygotowaniu pierwszej wersji manuskryptu, recenzji i poprawie końcowej wersji manuskryptu oraz finansowania w ramach zadania badawczego Miniatura 3.

Oświadczenia współautorów znajdują się w **Załączniku 5**.



# *Efekty wiskoelastyczne w chiralnych ciekłych kryształach ferroelektrycznych i antyferroelektrycznych*

## Wstęp

Chiralne ciekłe kryształy o własnościach ferroelektrycznych i antyferroelektrycznych znalazły liczne zastosowania, głównie w urządzeniach optoelektronicznych: przełącznikach światła, modulatorach, wyświetlaczach i ekranach wizyjnych. Zastosowanie chiralnych smektyków pozwala na poprawienie skali szarości, szybkości przełączania, kontrastu, zawartości informacji i poprawę innych parametrów urządzeń zobrazowania informacji. W badaniach własności ferroelektrycznych i antyferroelektrycznych wykorzystuje się głównie metody dielektryczne [1-2] natomiast metodami elektrooptycznymi najczęściej uzyskiwano informacje jakościowe [3-4]. W mojej pracy doktorskiej „Liniowy i kwadratowy efekt elektrooptyczny w chiralnych smektykach”, pokazałam, że amplituda i faza odpowiedzi elektrooptycznej mogą być kolejnymi parametrami pomocnymi przy identyfikacji subfaz ciekłokrystalicznych. To rozszerzyło możliwość zastosowania pomiaru głębokości modulacji światła w celu sprawdzenia temperatur przejść fazowych wyznaczonych innymi metodami. Ważne było pokazanie, że natężenie drugiej harmonicznej odpowiedzi elektrooptycznej jest czułym, użytecznym indykatorem przejścia do paraelektrycznej fazy smektycznej [5]. Opracowana została metoda pomiaru natężenia światła padającego i przesunięcia fazowego między promieniem zwyczajnym i nadzwyczajnym [6]. Zaproponowano uogólnione równania Debye’a do opisu procesów relaksacyjnych rejestrowanych metodą elektrooptyczną. Zauważono, że niektóre składowe posiadają ujemną amplitudę. Taka sytuacja nie ma analogii w eksperymentach dielektrycznych. Stwierdzono, że modulacja o częstości podstawowej zdeterminowana jest przez liniowy współczynnik elektrooptyczny, natomiast druga harmoniczna – przez obydwa współczynniki: zarówno liniowy, jak i kwadratowy. Następnie zaproponowano sposób pozwalający dokonać separacji pierwszej i drugiej harmonicznej. Zaproponowano metodę wyznaczania współczynników elektrooptycznych. To dało możliwość wyznaczania liniowego  $a$  i kwadratowego  $c$  współczynnika elektrooptycznego w funkcji temperatury dla ferroelektrycznego i antyferroelektrycznego smektyka chiralnego.

Po doktoracie ważnym osiągnięciem w badaniach dielektrycznych i elektrooptycznych chiralnych ciekłych kryształów, było pokazanie ich komplementarności [7] oraz zastosowania liniowych i nieliniowych efektów elektrooptycznych [8-9] do wyznaczenia polaryzacji flekso- i piezoelektrycznej warstw smektycznych w ferroelektrycznych i antyferroelektrycznych ciekłych kryształach [10]. W przebiegu działań naukowych, z uwagi na aplikacyjny charakter materiałów ciekłokrystalicznych, możliwe i istotne stało się zwrócenie szczególnej uwagi na prawidłowe i miarodajne metody wyznaczania własności materiałowych ciekłych kryształów (nie tylko nematycznych), a w szczególności efektów lepkosprężystych (w nomenklaturze inżynierii materiałowej coraz częściej, zamiennie, nazywane wiskoelastycznymi).

Z punktu widzenia zastosowań w urządzeniach do wizualizacji informacji i w modulatorach światła największe znaczenie mają cztery parametry: dwa współczynniki sprężystości (dla deformacji skręcających direktora smektycznego  $c$  i direktora nematycznego  $n$ ) i dwa współczynniki lepkości rotacyjnej dla tychże direktorów. Znajomość współczynników elektrooptycznych rozszerzyła obszar badawczy o możliwość wyznaczania parametrów materiałowych, takich jak sprężystość czy lepkość w mezogenach istotnych z punktu widzenia zastosowań. Prace nad mechanicznymi własnościami chiralnych ciekłych kryształów zostały wyraźnie poszerzone w trakcie moich dalszych badań. Podstawę mojego **osiągnięcia habilitacyjnego** p.t.: *Efekty wiskoelastyczne w chiralnych ciekłych kryształach ferroelektrycznych i antyferroelektrycznych* stanowi **cykl prac [H1-H8]** bezpośrednio dotyczących sposobu wyznaczania współczynników sprężystości i lepkości w chiralnych ciekłych kryształach, ze szczególnym uwzględnieniem subfaz o własnościach ferroelektrycznych i antyferroelektrycznych.

W wyszczególnionych pracach przebadane zostały ciekłe kryształy ferroelektryczne, ferrielektryczne i antyferroelektryczne w warunkach laminarnego przepływu i małych deformacji. Badania ferroelektryków zastosowano do testowania metody i znalezienia zależności między strukturą molekularną a właściwościami wiskoelastycznymi, które są istotne przy projektowaniu materiałów o pożądanych właściwościach oraz przy komponowaniu mieszanin o znaczeniu technicznym. Badania właściwości wiskoelastycznych ferroelektrycznych i antyferroelektrycznych ciekłych kryształów w warunkach małych deformacji są pionierskimi badaniami tego rodzaju. Otrzymane wyniki pozwalają na lepsze zrozumienie mechanizmów przełączania w ferroelektrycznych i antyferroelektrycznych ciekłych kryształach. Do detekcji deformacji zastosowane zostały metody dielektryczne i optyczne. Znalezienie zależności pomiędzy pomiarami dielektrycznymi i elektrooptycznymi rozszerzyło możliwości obu metod. Ze względu na dużą czułość metody elektrooptycznej możliwe było zastosowanie pola elektrycznego o ekstremalnie małym natężeniu i wykonanie pomiarów w próbkach zorientowanych planarnie i homeotropowo. Badania próbek homeotropowych dostarczyły danych na temat własności próbek objętościowych, czyli danych wolnych od błędów wywołanych wpływem powierzchni. Współczynniki lepkości rotacyjnej zostały wyznaczone z efektów dynamicznych (relaksacja modu Goldstone'a i modu miękkiego). Detekcja modów relaksacyjnych wykonywana była metodami dielektrycznymi i elektrooptycznymi.

### **Motywacja i cel badań**

Mówiąc o właściwościach mechanicznych, zwykle myśli się o właściwościach sprężystych w przypadku ciał stałych i właściwościach lepkich w przypadku cieczy. Ciekłe kryształy łączą w sobie właściwości zarówno ciał stałych, jak i cieczy izotropowych. Ta kombinacja właściwości sprężystych ciał stałych (związanych z odkształceniem) i lepkich właściwości cieczy (związanych z przepływem) powoduje pewne komplikacje w opisie właściwości mechanicznych ciekłych kryształów, które dlatego nazywane są właściwościami lepkosprężystymi. Taka kombinacja tworzy wiele interesujących zjawisk, nie występujących ani w ciałach stałych, ani w cieczach [11]. W przypadku ferroelektrycznych ciekłych kryształów właściwości lepkosprężyste są ważne z praktycznego punktu widzenia, ponieważ określają szybkość przełączania i napięcie progowe w wyświetlaczach. Do grupy ciekłych kryształów, których właściwości mechaniczne są dobrze poznane, zarówno teoretycznie jak i eksperymentalnie, możemy zaliczyć nematyki. Do poprawnego opisu właściwości mechanicznych ciekłych kryształów nematycznych potrzebne są trzy niezależne stałe sprężystości i pięć współczynników lepkości [11]. Powyższe zadanie jest znacznie bardziej skomplikowane w przypadku ciekłych kryształów smektycznych. Tutaj, ze względu na warstwową strukturę (i często niższą symetrię) potrzebna jest znacznie większa liczba parametrów. W najbardziej rozbudowanym (ale wciąż uproszczonym) modelu chiralnych przechylonych smektyków, opracowanym przez Dahla i Lagerwalla [12], uwzględniono piętnaście stałych sprężystości opisujących jedynie miękkie, objętościowe odkształcenia. W tych materiałach należy uwzględnić dziewięć niezależnych współczynników lepkości [13], nadal bez uwzględnienia zniekształceń warstw. Z tego powodu opis właściwości mechanicznych ferroelektrycznych ciekłych kryształów jest bardzo złożony, nawet w najbardziej uproszczonej formie. Dlatego niektóre współczynniki sprężystości i lepkości nie zostały do tej pory wyznaczone eksperymentalnie. Jedyne dostępne prace eksperymentalne dotyczą sprężystości skrętnej i lepkości rotacyjnej smektycznych c- i n-direktorów. Są to współczynniki o dużym znaczeniu technicznym.

## **Eksperymentalne wyznaczanie współczynników lepkości i sprężystości rotacyjnej.**

W cieczech izotropowych współczynnik lepkości łączy naprężenie z gradientami prędkości spowodowanymi przepływem. Podobnie współczynnik lepkości rotacyjnej  $\gamma$  łączy moment obrotowy  $\Gamma$  z prędkością kątową cząsteczek:

$$\Gamma = \gamma \frac{d\varphi}{dt} \quad (1)$$

Gdzie  $\varphi$  jest kątem obrotu cząsteczek. W fazie krystalicznej współczynniki elastyczności łączą naprężenia z odkształceniami. Podobnie w ciekłych kryształach stałe sprężystości są współczynnikami proporcjonalności między naprężeniem momentu obrotowego a odkształceniem. Dla odkształcenia skrętnego mamy:

$$\Gamma = -K_\varphi \frac{d^2\varphi}{dz^2} \quad (2)$$

gdzie  $z$  jest współrzędną wzdłuż kierunku normalnego do warstw smektycznych.

Współczynniki lepkości rotacyjnej  $\gamma$  i elastyczności skrętniej  $K_\varphi$  zdefiniowane w równaniach (1) i (2) są związane z modem Goldstone'a, tj. ze zmianami położenia płaszczyzny pochylenia molekuł bez wpływu na wartość kąta pochylenia. Aby wyznaczyć współczynnik lepkości należy przyłożyć siłę zewnętrzną wywołującą kontrolowany przepływ w płynie. Podobnie, aby określić współczynnik sprężystości, należy wywołać kontrolowane odkształcenie za pomocą zewnętrznego naprężenia. W ferroelektrycznych ciekłych kryształach pole elektryczne może być wykorzystane jako źródło takiej siły zewnętrznej. Dzięki jego sprzężeniu ze spontaniczną polaryzacją warstw smektycznych można łatwo wywołać przepływ lub deformację.

Aby opracować eksperymentalną metodę wyznaczania powyższych współczynników, należy pokonać dwa następujące problemy:

- 1) należy wyznaczyć wartość kąta  $\varphi$  z pomiarów wielkości makroskopowych (takich jak współczynniki załamania, przenikalność elektryczna),
- 2) należy rozwiązać równanie ruchu w kierunku  $c$ , tj. musi być znany rozkład kąta azymutalnego  $\varphi$  w skali mikroskopowej.

Równanie ruchu direktora  $c$  ma postać [11,14]:

$$K_\varphi \frac{d^2\varphi}{dz^2} - \gamma \frac{d\varphi}{dt} = M \quad (3)$$

gdzie  $M$  jest momentem działającym na jednostkę objętości ciekłego kryształu. Jeśli zewnętrzny moment obrotowy jest spowodowany polem elektrycznym  $E$ , to

$$M = P \times E \quad (4)$$

gdzie  $P$  oznacza polaryzację spontaniczną. Rozwiązanie równania ruchu (eq.3) zależy od kształtu i amplitudy przyłożonego pola elektrycznego. Procedura stosowana do wyznaczania  $\gamma$  i współczynników  $K_\varphi$  zależy od metody, za pomocą której wykrywane jest odkształcenie direktora  $c$ . Metody stosowane do wyznaczania współczynnika lepkości rotacyjnej  $\gamma$  zebrano w tabeli I.



Tabela I. Metody stosowane do wyznaczania współczynnika lepkości rotacyjnej  $\gamma$  w smektykach chiralnych

Metoda wykrywania	Kształt napięcia	Równanie	Literatura
Transmisja światła (przełączanie)	Prostokąt	$\gamma = \tau_s PE$	15, 16
Prąd polaryzacji	Prostokąt	$\gamma = 0,556\tau_s PE$	17
	Trójkąt	$\gamma = AP^2 E_{max}/i_{max}$	18
Modulacja światła	Harmoniczny	$\gamma = K_\varphi q^2 \tau$	19, 20
Stała dielektryczna	Harmoniczny	$\gamma = K_\varphi q^2 \tau$	11, 12

Gdzie:  $\tau$  - czas relaksacji,  $\tau_s$  - czas przełączania,  $A$  - obszar elektrody,  $K_\varphi$ - stała sprężystości skręcania dla direktora  $c$ ,  $E$ - pole elektryczne,  $i$ - natężenie światła,  $P$  – polaryzacja spontaniczna. W Tabeli II zebrano różne metody stosowane do wyznaczania stałej sprężystości skrętnej direktora  $c$ .

Tabela II. Metody wyznaczania skrętnej stałej sprężystości  $K_\varphi$  w chiralnych smektykach  $C^*$

Metoda wykrywania	Równanie	Literatura
Odkształcenie helisy Rozwijanie spirali	$K_\varphi = (16PE_c)/(\pi^2 q^2)$	23, 24
Modulacja światła	$K_\varphi = (PE\theta)/(2vq^2)$	19, 20
Stała dielektryczna	$K_\varphi = P^2/(2\epsilon_0\Delta\epsilon q^2\theta^2)$	21, 22

Gdzie:  $\theta$  - molekularny kąt pochylenia,  $E_c$  - krytyczne natężenie pola dla rozwinięcia helisy,  $q = 2\pi/p$  - wektor falowy helisy,  $p$  - skok śruby,  $\vartheta$  - nachylenie osi helisy,  $\epsilon_0$  - przenikalność elektryczna próżni,  $\Delta\epsilon$  - anizotropia dielektryczna,  $P$  - polaryzacja spontaniczna.

Liczba prac eksperymentalnych poświęconych pomiarom stałych lepkości i sprężystości w przechylonych fazach smektycznych jest stosunkowo niewielka [16-24]. Metody wymienione w tabelach I i II zostały zastosowane do badania różnych materiałów. Nie ma jednak wyników uzyskanych dla tego samego materiału różnymi metodami. W takim przypadku porównanie metod i ich wyników jest praktycznie niemożliwe a ich rozrzut może być tłumaczony własnościami materiału.

Dla stałej sprężystości  $K\varphi$  wyniki eksperymentalne różnią się o dwa rzędy wielkości [20, 24]. Prawdopodobnie główną przyczyną tych rozbieżności są efekty nieliniowe. Definicje współczynników lepkości i sprężystości zakładają liniowe zależności prędkości kątowej i odkształcenia od momentu obrotowego (patrz równanie (1) i (2)). Jest to prawdą tylko w przypadku przepływów laminarnych i małych odkształceń. Dlatego też, jeśli podczas pomiaru występują duże odkształcenia lub przepływy turbulentne, może to powodować znaczące błędy systematyczne. Dlatego wszystkie metody, w których stosowane jest wysokie pole elektryczne, takie jak metoda przełączania [15-18] lub metoda pola krytycznego [24], muszą być stosowane ze szczególną ostrożnością. Metody małych odkształceń [19-22] wydają się bardziej niezawodne i mogą być uważane za metody standardowe.

W badaniach ciekłych kryształów i ich zastosowaniach w ostatnich latach można zaobserwować istotny postęp [25]. Tradycyjnie badania skoncentrowane były na zastosowaniach w wyświetlaczach ciekłokrystalicznych i elementach migawek optycznych. Obecnie spektrum możliwości obejmuje całkiem nowe i różnorodne zastosowania w obszarze nanotechnologii i nanonauki. Stabilizacja mezofazy, poszerzenie i kontrolowanie jej zakresu temperaturowego poprzez zastosowanie polimerów i biopolimerów [26], szczególnie istotne w przypadku faz cechujących się bardzo wąskim 0, 1 – 2°C zakresem występowania, na przykład w tzw. egzotycznych fazach ciekłokrystalicznych: fazach błękitnych (BP) charakteryzujących się dyspersją stałej Kerra [27] czy w chiralnych fazach smektycznych ( $\text{SmC}_\alpha^*$ ,  $\text{SmC}_\beta^*$ ,  $\text{SmC}_\gamma^*$ ) [28].

Stosuje się również funkcjonalne nanocząstki do modyfikacji właściwości fizycznych ciekłych kryształów poprzez dodanie cząstek ferroelektrycznych [29], antyferroelektrycznych [30] czy magnetycznych o najróżniejszych wielkościach i kształtach. Coraz większe zainteresowanie znajdują również materiały hybrydowe, gdzie ciekły kryształ domieszkowany jest cząstkami wpływającymi na właściwości optyczne, takimi jak np. kropki kwantowe, plazmoneczne, półprzewodnikowe czy metamateriały. Samoorganizacja ciekłych kryształów jest wykorzystywana do porządkowania i orientowania matrycy, co obecnie znajduje zastosowanie między innymi w inteligentnych szybach czy elastomerach ciekłokrystalicznych [31].

W większości zastosowań materiałów ciekłokrystalicznych ważna, a czasami niezbędna, jest znajomość wielu parametrów (także współczynników sprężystości i lepkości) wpływających na zachowanie badanego materiału w warunkach kontrolowanych i zdefiniowanych. Brak punktu odniesienia w stosunku do chiralnych materiałów ciekłokrystalicznych, w szczególności materiałów o właściwościach ferroelektrycznych i antyferroelektrycznych, był moją podstawową **motywacją** do rozpoczęcia badań dotyczących wyznaczania współczynnika sprężystości i lepkości rotacyjnej. Znajomość właściwości materiałowych ciekłych kryształów i ich wpływu na strukturę, uporządkowanie, charakterystykę danej mezofazy i faz sąsiednich jest niezbędna do projektowania wysokosprawnych elementów optoelektronicznych, takich jak wyświetlacze ciekłokrystaliczne, modulatory światła czy filtry. Jak wspomniałam wcześniej, stosunkowo często wyznacza się stałe sprężystości i lepkości w silnym polu elektrycznym (co niejednokrotnie wywołuje przekroczenie zakresu proporcjonalności stałej sprężystości i generuje przepływ turbulentny a powinien pozostać laminarny), rzadko stosuje się słabe pola elektryczne choć są istotne w ocenie przydatności aplikacyjnej materiału. Rodzaj i charakter przemian fazowych zachodzących w badanym materiale może mieć decydujący wpływ nie tylko na wartość wyznaczonych współczynników, ale także na ich zależność temperaturową.

**Celem**, który zamierzałam osiągnąć, było znalezienie takiego sposobu wyznaczania efektów lepkosprężystych (wiskoelestatycznych) w chiralnych ciekłych kryształach, ich mieszaninach, materiałach kompozytowych, a nawet w układach dielektrycznych, który miałby znamiona metody uniwersalnej, pozwalający na stosowanie odpowiednio niskich pól elektrycznych. W przy-

padku chiralnych ciekłych kryształów z fazami ferroelektrycznymi, antyferroelektrycznymi i ich subfazami założenie takie oznacza: spełniającym prawo Hooke’a (w przypadku współczynników sprężystości) oraz zachowanie laminarnego przepływu (w przypadku współczynników lepkości).

### Podstawy teoretyczne.

Aby zmierzyć dowolny współczynnik sprężystości należy przyłożyć odpowiednie naprężenie do odpowiednio zorientowanej próbki i zmierzyć odkształcenie spowodowane tym naprężeniem. Zarówno naprężenie, jak i odkształcenie muszą być małe, aby spełnić warunek proporcjonalności między odkształceniem a naprężeniem (prawo Hooke’a).

W przypadku chiralnych smektyków  $C^*$  oznacza to, że zmiana kąta między kierunkami  $c$  w sąsiednich warstwach smektycznych musi być niewielka w porównaniu do równowagowej wartości tego kąta. Ze względu na ferroelektryczną polaryzację warstw smektycznych w fazie  $SmC^*$ , najprostszym sposobem wprowadzenia deformacji jest przyłożenie pola elektrycznego równoległe do warstw smektycznych. W tym przypadku warunek małej deformacji oznacza, że natężenie pola elektrycznego musi być znacznie niższe niż pole krytyczne  $E_C$  potrzebne do rozwinięcia helisy.

Badania właściwości mechaniczne direktora  $c$  w smektykach ferroelektrycznych o nieodkształconej lub słabo odkształconej strukturze helikalnej [13] są nadal nieliczne. Wyznaczenie stałych lepko-sprężystych w materiale ciekłokrystalicznym o własnościach ferroelektrycznych w niskich polach elektrycznych i niewielkiej deformacji helisy było moim i współautorów celem. Została zaproponowana metoda elektrooptyczna wyznaczania współczynnika lepkości rotacyjnej  $\gamma$  [H1] i współczynnika sprężystości skrętnej  $B_3$  [H2] (zgodnie z notacją [12], później w opracowaniach używano oznaczenia  $K_\varphi$ , a ostatecznie  $K$ ) dla smektycznego direktora  $c$ , tj. projekcji nematycznego  $n$ -direktora na płaszczyznę warstwy [11]. W poniższym opisie używać będę konsekwentnie oznaczenia  $K_\varphi$  dla współczynnika sprężystości oraz  $\gamma$  dla współczynnika lepkości rotacyjnej. Metoda ta spełnia warunki małego odkształcenia i przepływu laminarnego. Co więcej, zdecydowano się na przeprowadzenie pomiaru w homeotropowo zorientowanych próbkach, w których helisa jest znacznie mniej zdeformowana niż w zwykle używanych próbkach planarnych. W pracach [H1] i [H2] zdecydowano ograniczyć się do wyznaczenia współczynnika lepkości rotacyjnej  $\gamma$  i stałej sprężystości skrętnej  $K_\varphi$  [11]. Współczynniki te silnie wpływają na właściwości wyświetlaczy opartych na ferroelektrycznych ciekłych kryształach. Osobnym problemem jest metoda wykrywania deformacji. Deformacja rozkładu molekularnego powoduje zmianę makroskopowych właściwości próbki. Ponieważ właściwości optyczne są stosunkowo łatwe do detekcji, dlatego metoda elektrooptyczna zastosowana została do określania deformacji. Do numerycznego oszacowania  $K_\varphi$  i  $\gamma$  konieczne jest założenie modeli łączących zarówno deformację rozkładu molekularnego z siłą pola elektrycznego, jak i rozkład molekularny z makroskopowymi właściwościami optycznymi próbki. W idealnej, niezaburzonej chiralnej warstwie smektycznej  $C^*$  położenie direktora  $c$  w kolejnych warstwach smektycznych jest opisane przez:

$$\varphi = \frac{2\pi z}{p} \quad (5)$$

gdzie  $\varphi$  jest kątem azymutalnym między kierunkiem  $c$  a dowolnie wybraną osią  $x$  kar-tezjańskiego układu współrzędnych,  $z$  jest współrzędną w kierunku normalnym do warstw smektycznych, natomiast  $p$  jest skokiem helisy. Po przyłożeniu pola elektrycznego równoległego do warstw smektycznych, efektywny moment dipolowy warstw smektycznych ma tendencję do reorientacji w kierunku pola elektrycznego. Ta reorientacja jest utrudniona przez siły sprężystości i lepkości. Ponieważ właściwości direktora  $c$  są podobne do właściwości direktora  $n$



nematycznego, możemy użyć równania nematodynamicznego do opisu kąta azymutalnego  $\varphi$  [13, 31]:

$$K_\varphi \frac{d^2\varphi}{dz^2} - \gamma \frac{d\varphi}{dt} = P_S E \sin \varphi \quad (6)$$

gdzie  $P_S$  jest polaryzacją spontaniczną, a  $E = E_0 \cos \omega t$  oznacza natężenie pola elektrycznego o częstotliwości kątowej  $\omega$  przyłożonej do próbki. W przypadku małych odkształceń rozwiązanie równania (5) w stanie ustalonym ma postać:

$$\varphi = qz + \varphi_0 \cos(\omega t + \beta) \sin qz \quad (7)$$

gdzie  $q = \frac{2\pi}{p}$ , a amplituda zmiany kąta  $\varphi$  wynosi  $\varphi_0$  :

$$\varphi_0 = \frac{P_S E_0}{\gamma} \frac{1}{\sqrt{\tau^{-2} + \omega^2}} \quad (8)$$

a  $\beta = \arctan \omega \tau$  gdzie  $\tau$  jest czasem relaksacji:

$$\tau = \frac{\gamma}{K q^2} \quad (9)$$

Drugi człon równania (7) opisuje odpowiedź chiralnego smektyka C\* na przyłożone pole elektryczne AC. Zmiany kąta są również okresowe, ale przesunięte o kąt  $\beta$ . Deformacja helisy opisana równaniem (8) powoduje zmiany właściwości dielektrycznych i optycznych chiralnego smektyka C\*. Jedną z łatwo wykrywalnych zmian jest przesunięcie osi optycznej. Gdy kąt nachylenia cząsteczki  $\varphi_0$  jest mały, zależność między amplitudą kąta azymutalnego a amplitudą nachylenia osi optycznej ma następującą przybliżoną postać [31]:

$$\vartheta_0 = \frac{1}{2} \varphi_0 \theta \quad (10)$$

Tak więc pomiar amplitudy nachylenia osi optycznej przy różnych częstotliwościach umożliwia określenie  $K_\varphi$  i  $\gamma$  przy użyciu równań (8) i (9). Gdy  $\omega \ll 1/\tau$  wtedy  $\vartheta_0$  nie zależy od częstotliwości i z (8), (9) i (10) otrzymujemy [H2]:

$$K = \frac{P_S E_0 \theta}{2 \vartheta_0 q^2} \quad (11)$$

Z zależności  $\vartheta_0$  od częstotliwości można obliczyć czas relaksacji  $\tau$ , a następnie lepkość  $\gamma$  [H1]:

$$\gamma = K q^2 \theta = \frac{P_S E_0 \theta}{2 \vartheta_0} \tau \quad (12)$$

Gdzie:  $\tau$  - czas relaksacji,  $\tau_s$ - czas przełączania,  $A$  - obszar elektrody,  $K_\varphi$ - stała sprężystości skrętnej dla direktora  $c$ ,  $E$ - pole elektryczne,  $i$ - natężenie światła,  $P, P_S$  - polaryzacja spontaniczna,  $q = \frac{2\pi}{p}$ ,  $p$  - skok śruby,  $\vartheta_0$  - kąt azymutu.

Jak wcześniej pokazano, wywołane polem kolektywne ruchy cząsteczek w smektycznych ferroelektrycznych ciekłych kryształach z helikalną superstrukturą są zwykle badane poprzez analizę fluktuacji kąta azymutalnego  $\vartheta$  wzdłuż osi  $z$ , normalnej do warstw smektycznych. Dodatkowo zakłada się, że cząsteczki nie przenikają się wzajemnie, a warstwy smektyczne są dobrze zdefiniowane. Wówczas rotacyjne ruchy cząsteczek indukowane przez zewnętrzne pole elektryczne zmieniające się sinusoidalnie z amplitudą  $E_0$  i częstotliwością kątową  $\omega$  są opisane

równaniem (6). [1, 3]

W przypadku antyferroelektrycznych ciekłych kryształów, polaryzacja każdej pary sąsiadujących ze sobą warstw smektycznych jest prawie zniesiona, ale z powodu występowania struktury helikalnej nadal występuje niezerowa jej wartość [1]. Ponieważ grubość warstwy smektycznej  $l$  jest znacznie mniejsza niż skok helisy  $p$ , wartość bezwzględna pozostałej lokalnej polaryzacji związanej z parą warstw smektycznych może być określona przez zależność:

$$\delta P_S = 2\pi \frac{l}{p} P_S \quad (13)$$

Biorąc pod uwagę rozwiązanie równania ruchu pary cząsteczek należących do sąsiednich warstw smektycznych, można łatwo wykazać, przez analogię do zależności (11), że dla antyferroelektrycznych ciekłych kryształów rozwiązanie można uzyskać po prostu zastępując  $P_S$  w równaniu (6) przez  $\delta P_S$  [32]. Następnie, korzystając z równań (10)-(11) i (13) oraz biorąc pod uwagę, że  $l = l_0 \cos \theta$ , gdzie  $l_0$  jest długością cząsteczki (liniowy rozmiar cząsteczki mierzony w kierunku równoległym do direktora  $n$ ), otrzymamy:

$$K_a = \frac{P_S E_0 l_0 \sin 2\theta}{4\vartheta_0 q^2} \quad (14)$$

Prawa strona powyższej zależności obejmuje parametry, które można wyznaczyć eksperymentalnie. Do obliczenia  $\vartheta_0$  zastosowano metodę pomiaru liniowej głębokości światła [6], która bliżej przedstawiona zostanie przy opisie eksperymentu. Zatem równanie to pozwala na obliczenie stałej sprężystości skrętnej dla antyferroelektrycznego ciekłego kryształu, w słabym polu elektrycznym [H4].

Zmianę orientacji osi optycznej  $\Delta\alpha$  w słabym polu elektrycznym można wyrazić jako [2]:

$$\Delta\alpha = a E_0 \quad (15)$$

ze współczynnikiem  $a$  niezależnym od  $E_0$ . Liniowy współczynnik elektrooptyczny  $a$  [6] opisujący zmianę orientacji osi optycznej pod wpływem słabego pola elektrycznego  $E$ , które nie niszczy struktury helikoidalnej można wyrazić jako:

$$a = \frac{1}{2} \frac{P_S \sin \theta}{K q^2 \sqrt{1 + \omega^2 \tau^2}} \quad (16)$$

gdzie  $q = 2\pi/p$ ,  $p$  jest skokiem helisy,  $\theta$  kątem nachylenia molekuł w warstwie smektycznej (w ferroelektrycznej fazie smektycznej  $C^*$ , cząsteczki chiralne są spontanicznie pochyłone względem osi normalnej do warstwy), a  $\tau$  oznacza czas relaksacji modu Goldstone'a (9). Rozwiązanie równania (6) dla małych odkształceń, po uwzględnieniu równania (16), dla warunku  $\omega\tau \ll 1$ , można otrzymać wyrażenie na współczynnik sprężystości międzywarstwowej  $K_\varphi$  [H6] w postaci:

$$K_\varphi = \frac{1}{8\pi^2} \frac{P_S p^2 \sin \theta}{a} \quad (17)$$

Ostatnia zależność (17) umożliwia obliczenie współczynnika  $K_\varphi$ , gdy znane są następujące parametry:  $a$  (liniowy współczynnik elektrooptyczny),  $P_0$  (lokalna polaryzacja spontaniczna),  $p$  (skok śruby) oraz  $\theta$  (kąt pochylenia molekuł. Dodatkowo, z równań (9) i (17), jeśli znane jest  $\tau$ , można wyznaczyć lepkość rotacyjną [H7]:

$$\gamma = \frac{P_S \theta}{2a} \tau \quad (18)$$

gdzie  $\tau$  jest częstotliwością relaksacji modu Goldstone’a, to znaczy modem relaksacyjnym związanym z fluktuacjami długiej osi molekuł w kierunku azymutalnym względem normalnej do warstwy smektycznej. Wzory w równaniach (17) i (18) są podstawą do określenia lepko-sprężystości w ferroelektrycznych ciekłych kryształach o strukturze helikoidalnej w granicy małych deformacji i granicy przepływu laminarnego. W przypadku antyferroelektrycznych ciekłych kryształów, po uwzględnieniu zależności (13) otrzymujemy [H8]:

$$K_a = \frac{1}{8\pi^2} \frac{\delta_S p^2 \sin \theta}{a} \quad (19)$$

oraz:

$$\gamma_a = \frac{\delta P_S \theta}{2a} \tau \quad (20)$$

Wzory w równaniach (19) i (20) są podstawą do określenia lepko-sprężystości w ferroelektrycznych ciekłych kryształach o strukturze helikoidalnej w granicy małych deformacji i granicy przepływu laminarnego.

Rozszerzoną listę dostępnych metod wyznaczania współczynnika sprężystości  $K_\varphi$  oraz  $K_a$  w smektykach chiralnych o własnościach ferroelektrycznych i antyferroelektrycznych przedstawiono w Tabeli III. Natomiast rozszerzoną listę dostępnych metod wyznaczania lepkości rotacyjnej  $\gamma$  oraz  $\gamma_a$  w Tabeli IV, gdzie  $K_\varphi$  oraz  $K_a$  oznaczają współczynnik sprężystości odpowiednio w fazie ferroelektrycznej i antyferroelektrycznej  $\gamma$  oraz  $\gamma_a$  oznaczają lepkość rotacyjną odpowiednio w fazie ferroelektrycznej i antyferroelektrycznej.



Tabela III. Metody stosowane do wyznaczania współczynnika sprężystości  $K_\varphi$  oraz  $K_a$  w smektykach chiralnych o własnościach ferroelektrycznych i antyferroelektrycznych. Szarym kolorem oznaczono nowe metody opisane w [H4], [H6] i [H8].

Metoda wykrywania	Równanie	Literatura
Odkształcenie helisy Rozwijanie spirali	$K_\varphi = (16PE_c)/(\pi^2 q^2)$	23, 24
Modulacja światła	$K_\varphi = (PE\theta)/(2vq^2)$	19, 20
Stała dielektryczna	$K_\varphi = P^2/(2\varepsilon_0\Delta\varepsilon q^2\theta^2)$	21, 22
Modulacja światła	$K_\varphi = \frac{P_S \cdot E_0 \cdot \theta}{2\vartheta_0 \cdot q^2}$	[H2]
Modulacja światła	$K_a = \frac{P_S \cdot E_0 \cdot l_0 \cdot \sin 2\theta}{4\vartheta_0 \cdot q^2}$	[H4]
Modulacja światła	$K_\varphi = \frac{1}{8\pi^2} \frac{P_S \cdot p^2 \cdot \sin\theta}{a}$	[H6]
Modulacja światła	$K_a = \frac{1}{8\pi^2} \frac{\delta P_S \cdot p^2 \cdot \sin\theta}{a}$	[H8]

Tabela IV. Metody stosowane do wyznaczania współczynnika sprężystości  $\gamma$  oraz  $\gamma_a$  w smektykach chiralnych o własnościach ferroelektrycznych i antyferroelektrycznych. Szarym kolorem oznaczono nowe metody opisane w [H1], [H7] i [H8].

Metoda wykrywania	Kształt napięcia	Równanie	Literatura
Transmisja światła (przełączanie)	Prostokąt	$\gamma = \tau_s PE$	15, 16
Prąd polaryzacji	Prostokąt	$\gamma = 0,556\tau_s PE$	17
	Trójkąt	$\gamma = AP^2 E_{max}/i_{max}$	18
Modulacja światła	Harmoniczny	$\gamma = K_\phi q^2 \tau$	19, 20
Stała dielektryczna	Harmoniczny	$\gamma = K_\phi q^2 \tau$	11, 12
Modulacja światła	Harmoniczny	$\gamma = \frac{P_s \cdot E_0 \cdot \theta}{2\theta_0} \tau$	[H1]
Modulacja światła	Harmoniczny	$\gamma = \frac{P_s \cdot \theta}{2a} \tau$	[H7]
Modulacja światła	Harmoniczny	$\gamma_a = \frac{\delta P_s \cdot \theta}{2a} \tau$	[H8]



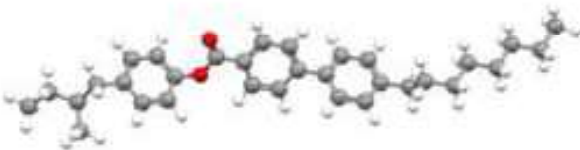
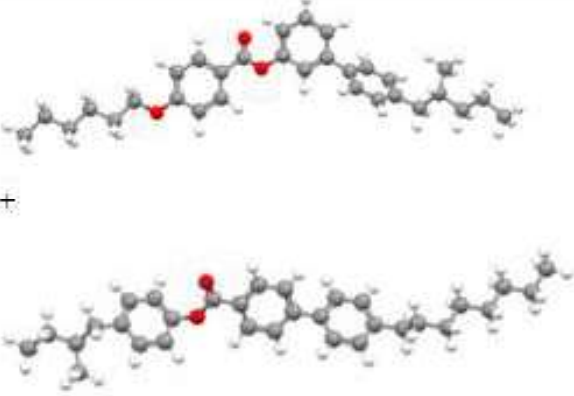
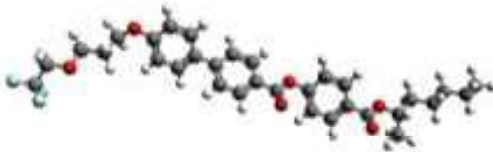
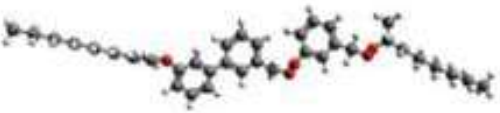
|

## Materiały i metody.

Przedmiotem badań były smektyczne, chiralne ciekłe kryształy, różniące się sekwencją przejść fazowych. Pierwszym z nich był materiał 4'-methylbutyloxy phenyl-4-octyloxy-benzoate, oznaczany jako *C8* [H1-H2] oraz [H5] – wykazujący tylko dwie mezofazy. Faza ferroelektryczna pojawia się w nim bezpośrednio po mięknieniu, następnie obserwujemy przejście do paraelektrycznej fazy skręconego nematyka. Materiał ten testowany był różnymi, dotychczas stosowanymi metodami [H5]. Kolejnymi, komercyjnie dostępnymi, wybranymi materiałami były 4-(n-hexyloxy phenyl)-1-(2-fuethyl butyl) biphenyl-4-carboxylate, nazywany *Ce-3* [H6-H7], którego sekwencja faz była analogiczna do *C8* oraz 4-(2-methylbutyl) phenyl-4-n-octylbiphenyl-4-carboxylate, *Ce-8* [H6-H7], ferroelektryczny ciekły kryształ, który z kolei wykazuje bardzo bogaty polimorfizm – z fazy smektycznej *C\** podczas ogrzewania obserwujemy przejście fazowe do niechiralnej, paraelektrycznej fazy smektycznej *A\**, następnie do fazy chiralnej, nematycznej *N\** a następnie do fazy błękitnej, której periodyczność tworzy superstruktura trójwymiarowych defektów. W grupie materiałów wykazujących własności antyferroelektryczne zbadano 4-(1-methyl-heptyloxycarbonyl) phenyl 4'-(3-butanoyloxy propyl-1-oxy) biphenyl-4-carboxylate, w skrócie oznaczony *D12* [H3 - H4], zsyntezowany w Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie. Materiał ten charakteryzuje się przemianą fazową bezpośrednio z fazy antyferroelektrycznej *SmC\*\_A* do fazy paraelektrycznej *A\**. Ostatnim przedstawionym materiałem jest 4-(1-methylheptyloxycarbonyl)phenyl-4-octyloxybiphenyl-4-carboxylate, komercyjnie dostępny materiał (Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa, Sigma-Aldrich, Saint Louis, USA) wykazujący bogaty polimezomorfizm, o akronimie *MHPOBC* [H8]. Przejścia fazowe z fazy antyferroelektrycznej *SmC\*\_A* i ferroelektrycznej *m\** do fazy paraelektrycznej *SmA\** odby-

wają się poprzez tak zwane fazy egzotyczne o własnościach ferielektrycznych, odpowiednio:  $SmC^*_\gamma$  oraz  $SmC^*_\alpha$ .

Tabela V. Badane materiały ciekłokrystaliczne.

Skrót	Struktura chemiczna	Sekwencja faz
C8		Cr 48 ( $SmIV$ 12 $SmIII$ 21) $SmC^*$ 43.1 $SmA^*$ 59 Iso
Ce-3		Cr 65 $SmC^*$ 77.5 $N^*$ 162 Iso
Ce-8		Cr 48 $SmG$ 63.3 $SmJ$ 64.7 $SmF$ 66.7 $SmI$ 69 $SmC^*$ 85 $SmA^*$ 135.4 $N^*$ 140.7 BP 141 Iso
Ce-3/8	+ 	Cr 39.6 $SmG$ 56 $SmJ$ 65 $SmF$ 67 $SmC^*$ 86 $SmA^*$ 124 $N^*$ 145.5 BP 147 Iso
D12		K 111.5 $SmC^*_A$ 125 $SmA^*$ 136 Iso
MHPOBC		Kr 59,0 $SmC^*_A$ 119,5 $SmC^*_\gamma$ 120,5 $SmC^*_\beta$ 121,9 $SmC^*_\alpha$ 123,0 $SmA^*$ 150,2 Iso

Typowa komórka do pomiarów elektrooptycznych składa się z dwóch płytek szklanych oddzielonych od siebie przekładkami dystansującymi. Dzięki temu wprowadzana warstwa ciekłego kryształu ma ściśle określoną grubość. Do pomiarów z uporządkowaniem planarnym wykorzystano komórki komercyjne wyprodukowane przez firmę Instec o grubości  $5\mu\text{m}$ , AWAT o grubości  $5\mu\text{m}$ , EHC o grubości  $12\mu\text{m}$ ,  $30\mu\text{m}$  oraz  $110\mu\text{m}$ . Powierzchnie przewodzące (elektrody) wykonane są z tlenku indu i tlenku cynowego oraz pokryte polimerową warstwą orientującą. Do elektrod dołączone są cienkie przewody elektryczne. Komórki zastosowane do pomiarów z uporządkowaniem homeotropowym zostały przygotowane przy użyciu dwóch pasków folii aluminiowej przyklejonych do szklanej płytki w odległości około 1-1,6 mm. Kolejna szklana płytka została przymocowana do górnej części elektrod. Obie szklane płytki zostały pokryte warstwą środka powierzchniowo czynnego (bromek heksadecylotrimetyloamoniowy) w celu uzyskania homeotropowych warunków brzegowych. Temperaturą odpowiednią do napełniania komórki jest temperatura cieczy izotropowej. Kroplę cieczy umieszcza się w pobliżu szczeliny między szkiełkami, która, dzięki efektowi kapilarnemu, wypełnia całą komórkę. Tak przygotowaną komórkę możemy wykorzystać do badań termooptycznych, elektrooptycznych, dielektrycznych i obserwacji przejść fazowych. W celu uzyskania jednolitej orientacji warstw smektycznych ciekłego kryształu, prostopadle lub równolegle do elektrod, często stosuje się różne procedury, na przykład bardzo wolne chłodzenie z fazy izotropowej, wprowadzanie gradientu temperatur w okolicach przejścia fazowego, użycie odpowiednio modulowanego napięcia lub przyłożenie napięcia stałego. Nie ma jednej uniwersalnej metody. Cienkie komórki zapewniały lepsze uporządkowanie warstw smektycznych, ale silnie deformowały helisę. Z drugiej strony, grube próbki nie wpłynęły znacząco na strukturę helisy, ale powodowały gorsze uporządkowanie warstw. Uporządkowanie próbki sprawdzono za pomocą mikroskopu polaryzacyjnego.

Aby wyznaczyć współczynnik lepkości rotacyjnej  $\gamma$  i stałą sprężystości skrętnej  $K_\varphi$  dla smektyków chiralnych o własnościach ferroelektrycznych i antyferroelektrycznych, należy zmierzyć następujące wielkości:

- a/ polaryzacja spontaniczna  $P_S$ ;
- b/ skok śruby  $p$ ;
- c/ kąt pochylenia  $\theta$ ;
- d/ liniowy współczynnik elektrooptyczny  $a$ ;
- e/ czas relaksacji  $\tau$ .

a/ Polaryzacja spontaniczna została zmierzona standardową metodą, za pomocą mostka Diamanta-Pepinsky'ego [33]. Polaryzacja spontaniczna [H1-H2, H5] wyznaczona została w komórkach homeotropowych, natomiast dla [H4, H6-H8] w komórkach planarnych.

b/ Skok śruby został zmierzony w homeotropowo zorientowanych próbkach przy użyciu następujących metod: spektroskopowej [H2, H5 - H7] i metody Cano w próbce klinowej [H2, H5] oraz w homeotropowo zorientowanej swobodnej kropli ciekłego kryształu [H8]. Wymienione metody dają porównywalne wyniki przy założeniu, że współczynnik załamania promienia zwyczajnego wynosi 1,4.

c/ Kąt pochylenia molekuł zmierzono metodą pola przemiennego. Stosuje się tutaj pole elektryczne o kształcie prostokątnym o dość dużej częstotliwości (od kilkudziesięciu do kilkuset herców). Pomiar natężenia światła dokonywany jest za pomocą fotodiody i obserwowany na oscyloskopie.

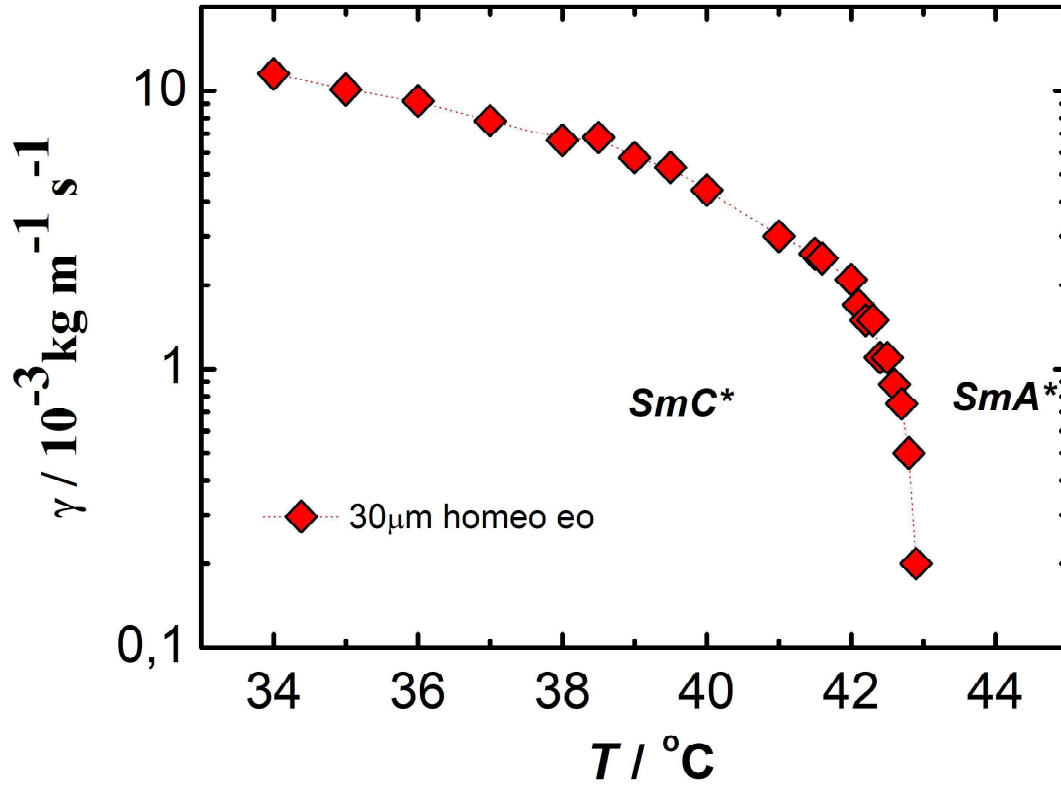
d/ Zmiana położenia osi optycznej wywołuje zmianę natężenia światła przechodzącego przez próbkę. Natężenie światła rejestrowane jest przez fotodiode. Na wyjściu przedwzmacniacza otrzymujemy sygnał proporcjonalny do natężenia światła. Tak zmodulowany sygnał oprócz składowej stałej zawiera składową zmienną, zwaną odpowiedzią elektrooptyczną. Dodatkowo, zmiany kąta  $\alpha$  mogą być symulowane przez obrót stolika mikroskopu wraz z próbką o mały kąt  $\Delta\alpha_K$  [H3, H4]. W pracach [H6-H8] zastosowano dodatkową modyfikację tej metody. W eksperymencie zmierzona została składowa stała natężenia światła przechodzącego przez próbkę jednocześnie ze składową zmienną. Podczas pomiaru odpowiedzi elektrooptycznej próbka wykonywała oscylacje o amplitudzie  $\sim 0,14^\circ$ . Częstotliwość drgań uwarunkowana była prędkością obrotów silniczka synchronicznego wprowadzającego układ w ruch i wynosiła 6,25 Hz. Kalibracja odpowiedzi elektrooptycznej przy użyciu wyżej opisanego układu umożliwiła uzyskanie wartości głębokości modulacji światła w jednostkach bezwzględnych.

e/ Czas relaksacji - wyznaczony został z pomiarów składowej rzeczywistej i urojonej odpowiedzi elektrooptycznej w funkcji częstotliwości.

## Uzyskane wyniki.

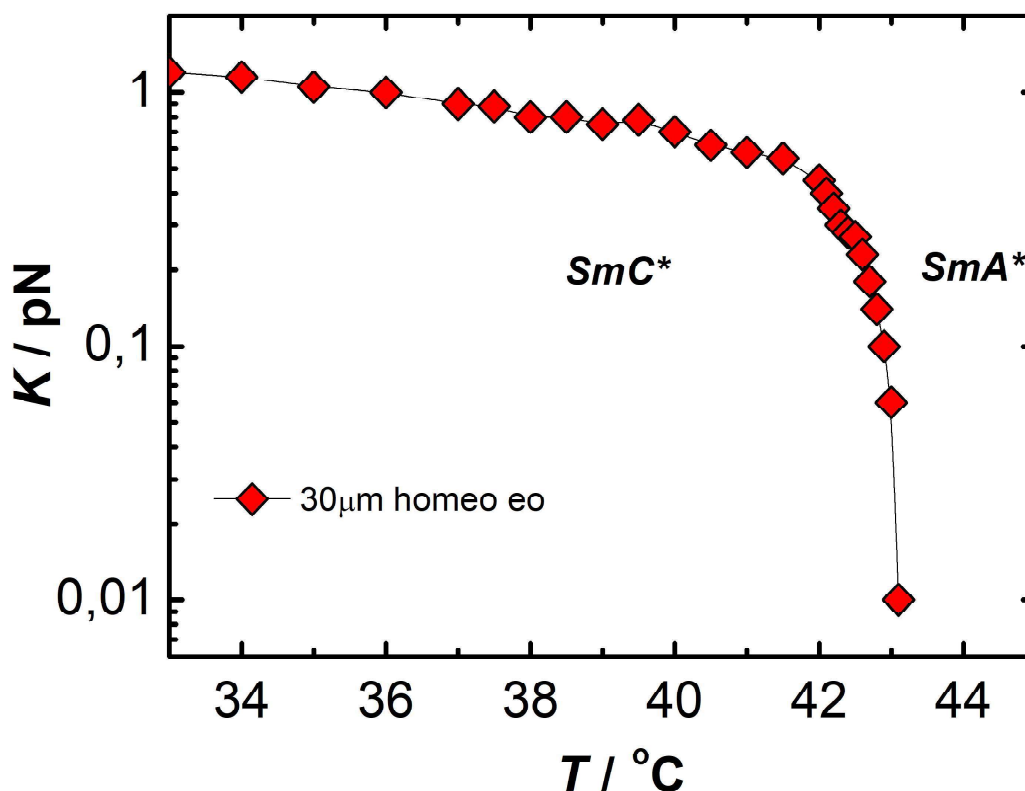
Na podstawie wykonanych pomiarów komplementarnymi metodami wielu wielkości fizycznych możliwe było wyznaczenie współczynnika sprężystości  $K_\varphi$  i lepkości rotacyjnej  $\gamma$  w materiałach ciekłokrystalicznych o własnościach ferroelektrycznych [H1-H2]. Założono, że parametry odpowiadające w największym stopniu zachowaniu próbek objętościowych muszą mieć jak najmniej zdeformowaną strukturę helikalną. Zaburzenia helisy chiralnych smektyków mogą być spowodowane zbyt silnymi warunkami kotwiczenia w cienkich próbkach planarnych, a także stosowaniem zbyt silnych pól elektrycznych powodujących całkowite rozkręcenie śruby i stan nasycenia w próbkach grubszych. Uzyskane wyniki dla ferroelektrycznego materiału C8 uzyskane w warunkach zbliżonych do próbki objętościowej (uporządkowanie homeotropowe) oraz w słabych polach elektrycznych (gwarantujących liniowość i odwracalność badanych efektów, zgodnie z prawem Hooke'a oraz przy względnie małej prędkości przepływu ciekłego kryształu gwarantującego jego laminarność [H1-H2]) zaprezentowane zostały na rysunkach 1 i 2.

Współczynnik lepkości rotacyjnej  $\gamma$  zanika przy przejściu fazowym  $\text{SmC}^*-\text{SmA}^*$ . Nie jest to zaskakujące, ponieważ parametr ten opisuje właściwości direktora  $c$ , które zanikają przy przejściu do fazy niepochylonej, nie posiadającej już struktury helikoidalnej. Porównanie naszych wyników eksperymentalnych z danymi literaturowymi jest trudne, ponieważ dane dotyczące stałych materiałowych są bardzo skąpe. Rozrzut wyników pomiarów jest bardzo duży (ponad dwa rzędy wielkości). Dane literaturowe są w większości uzyskane dla próbek płaskich i przypuszczamy, że wyniki są silnie zależne od geometrii próbki. Dodatkowo trudno jest porównywać wyniki dotyczące różnych materiałów. Wartości współczynnika lepkości rotacyjnej uzyskane w tym artykule zgadzają się dość dobrze z niektórymi danymi literaturowymi [11, 34, 35], ale wyraźnie różnią się od wielu innych uzyskanych w orientacji planarnej, patrz np. [36, 37].



Rysunek 1. Zależność temperaturowa współczynnika lepkości rotacyjnej  $\gamma$  w ferroelektrycznym ciekłym kryształach C8 [H1].

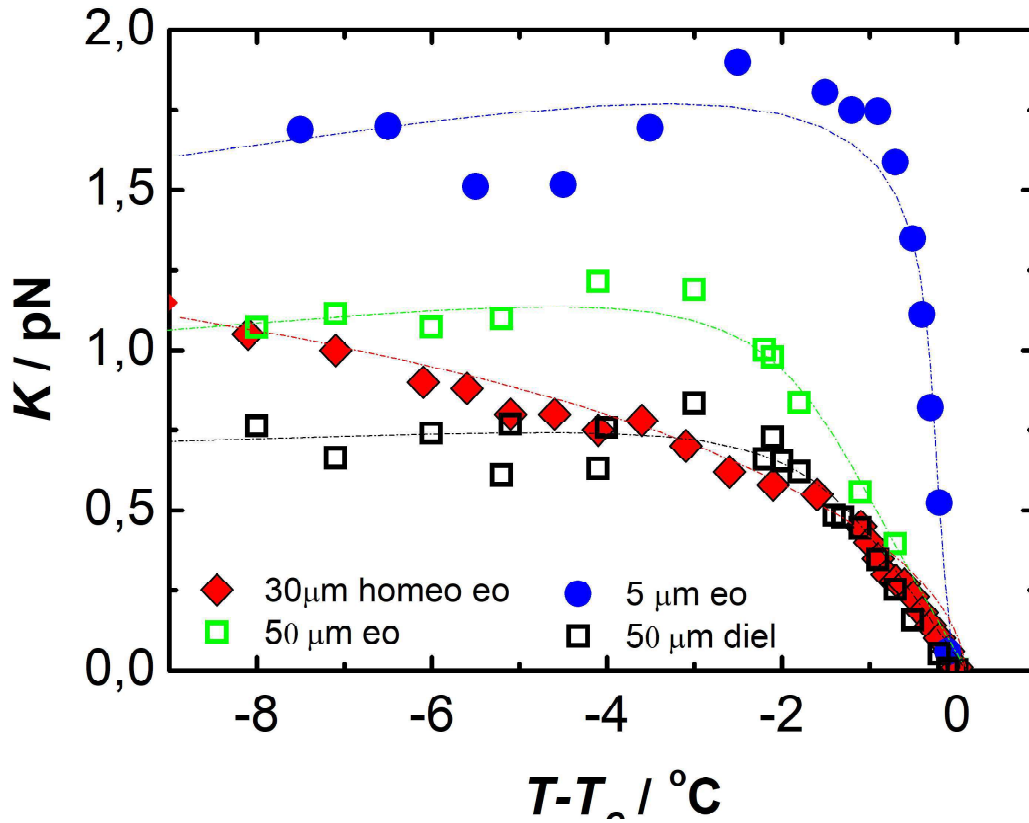
Podczas analizy wyników szczególną uwagę należy zwrócić na określenie skoku spirali  $p$ , aby zapewnić prawidłowe wartości stałej sprężystości  $K_\varphi$ . Skok powinien być mierzony z dużą dokładnością, ponieważ jego kwadrat pojawia się w równaniu (7). Naprężenia występujące w spirali mogą wpływać na reakcję osi optycznej próbki na pole elektryczne [38]. Najlepszym sposobem na uniknięcie wpływu naprężeń na wyznaczone wartości stałej sprężystości jest pomiar pochylenia  $\theta$  i nachylenia osi optycznej  $\vartheta_0$  w tym samym czasie lub przynajmniej w tej samej geometrii próbki. Dlatego do obliczenia  $K_\varphi$  wykorzystano wyniki pomiarów pochylenia molekuł w próbkach homeotropowych. Stała sprężystości  $K_\varphi$  zanika przy przejściu fazowym  $SmC^* - SmA^*$ . Porównanie naszych wyników eksperymentalnych z danymi literaturowymi jest trudne, ponieważ do tej pory pomiary współczynnika sprężystości objętościowej  $K_\varphi$  w słabych polach zostały opisane tylko w pracach [38-39]. Wartości  $K_\varphi$  uzyskane w tych pracach są podobne do przedstawionych tutaj (odpowiednio  $0.5 \cdot 10^{-12} \text{ N}$ ,  $1 \cdot 10^{-12} \text{ N}$  i  $0.9 \cdot 10^{-12} \text{ N}$ , w temperaturze  $3^\circ\text{C}$  poniżej  $T_{CA}$ ). Jednak dane uzyskane dla próbek planarnych są znacznie bardziej rozproszone (na przykład Ref. [34], [35], [37]). Większość z nich opiera się na pomiarach dielektrycznych, które są silnie zależne od geometrii próbki [31,41].



Rysunek 2. Zależność temperaturowa współczynnika sprężystości  $K_\varphi$  w ferroelektrycznym ciekłym kryształach C8 [H2].

Jednak trudno jest sformułować jakiekolwiek rozstrzygające stwierdzenia, ponieważ i tutaj wyniki dotyczą różnych materiałów. Podsumowując, uzyskano wartości współczynników lepkości przy użyciu słabego pola elektrycznego. Wszystkie pomiary wykonane zostały w komórkach o uporządkowaniu homeotropowym, które pozwala istotnie zbliżyć się do własności objętościowych badanego materiału. Uzyskane wyniki wyglądają obiecująco, dlatego postanowiono przetestować następnie materiał 4'-metylbutyloxy phenyl-4-octyloxy-benzoate, zwany C8, ciekły kryształ o własnościach ferroelektrycznych dostępnymi metodami i porównać w ten sposób uzyskane wyniki dla jednego materiału w zależności od temperatury. Wyniki takiej analizy [H5] przedstawione zostały na Rysunku 3 dla wartości otrzymanego współczynnika sprężystości  $K_\varphi$  oraz na Rysunku 4 dla lepkości rotacyjnej  $\gamma$ .

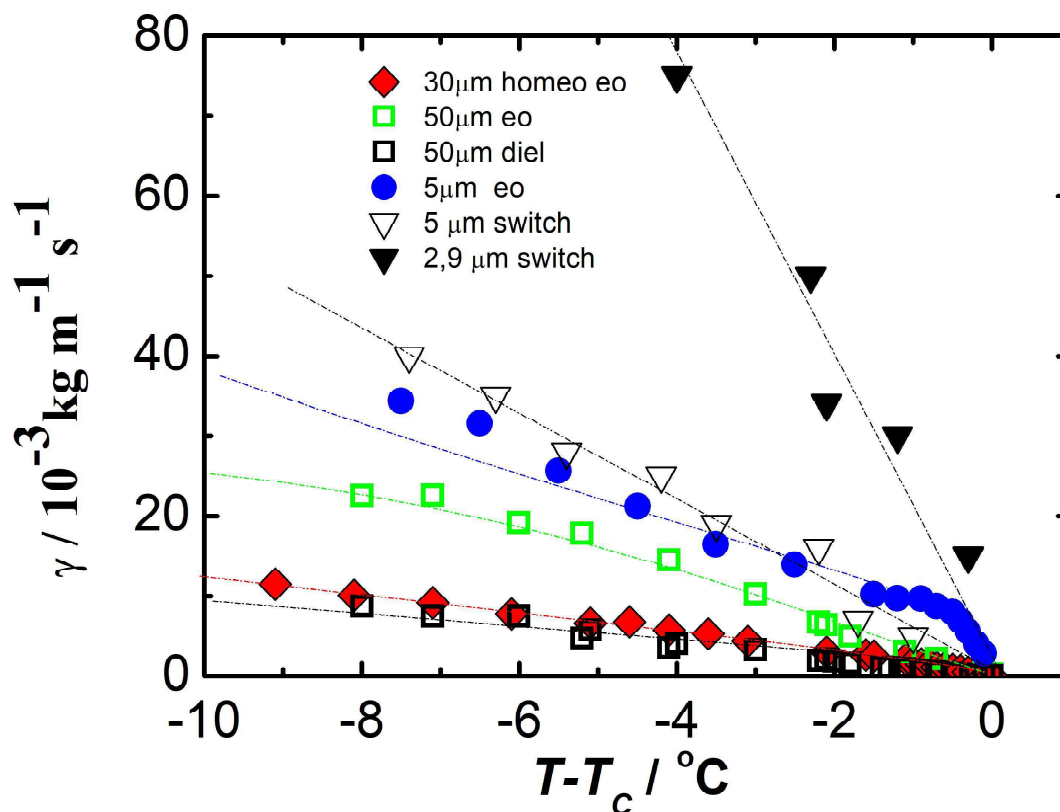




Rysunek 3. Zależność temperaturowa współczynnika sprężystości  $K_\varphi$  w ferroelektrycznym ciekłym kryształach C8 [H5] uzyskana różnymi metodami. Na wykresie „eo” oznacza metody ekektrooptyczne, „dieł” dielektryczne. Grubości próbek planarnych  $5\mu\text{m}$  oraz  $50\mu\text{m}$ , grubość próbki homeotropowej  $30\mu\text{m}$ .

Rysunek 3 wyraźnie pokazuje, że warunki eksperymentalne (przede wszystkim grubość i rodzaj uporządkowania) mają duży wpływ na wyniki pomiarów. Wyniki różnią się nie tylko wartościami, ale także kształtem zależności temperaturowej. Warto zauważyć, że zależności temperaturowe są raczej nieregularne dla próbek uporządkowanych planarnie. Podobne zachowanie zaobserwowano dla współczynnika lepkości rotacyjnej  $\gamma$ , pokazanego na Rysunku 4. Przypuszczamy, że główną przyczyną różnic w wynikach uzyskanych w różnych warunkach eksperymentalnych są oddziaływania powierzchniowe. Największe wartości współczynników  $K_\varphi$  uzyskano dla cienkiej ( $5\mu\text{m}$ ), planarnie uporządkowanej próbki, gdzie oddziaływania powierzchniowe odgrywają najważniejszą rolę. Ponieważ spiralna struktura smektycznej fazy  $SmC^*$  nie zawsze jest kompatybilna z planarnym uporządkowaniem, właściwości komórki w dużym stopniu wpływają na wyniki pomiarów. W przypadku orientacji homeotropowej struktura helikalna i inne właściwości materiału mają mniejszy wpływ na wyniki pomiarów i są w mniejszym stopniu zależne od powierzchni. Warstwy smektyczne w próbce uporządkowanej homeotropowo są równoległe do ścian komórki, a struktura śrubowa jest tylko nieznacznie zdeformowana w pobliżu powierzchni. Uważamy, że wyniki uzyskane w grubych komórkach homeotropowych lepiej odzwierciedlają masowe właściwości chiralnej fazy smektycznej  $C^*$ . Dlatego zakładamy, że te wyniki możemy uznać za wyniki referencyjne. Jak widać na Rysunku 3, istnieje pewna korelacja między wynikami dielektrycznymi uzyskanymi dla próbki płaskiej  $50\mu\text{m}$  i próbki homeotropowej  $30\mu\text{m}$ . Rozbieżność może wynikać z różnej zależności

temperaturowej w próbce planarnej i homeotropowej [21]. Skok spirali powinien być zawsze mierzony z dużą dokładnością, ponieważ jego kwadrat pojawia się we wzorach teoretycznych na współczynniki lepkości [18, 20]. Oczywiście jest, że naprężenia deformujące helisę mogą wpływać na odpowiedź osi optycznej na przykładane pole elektryczne, a w konsekwencji powodować fluktuacje wartości parametru  $K_\varphi$ .



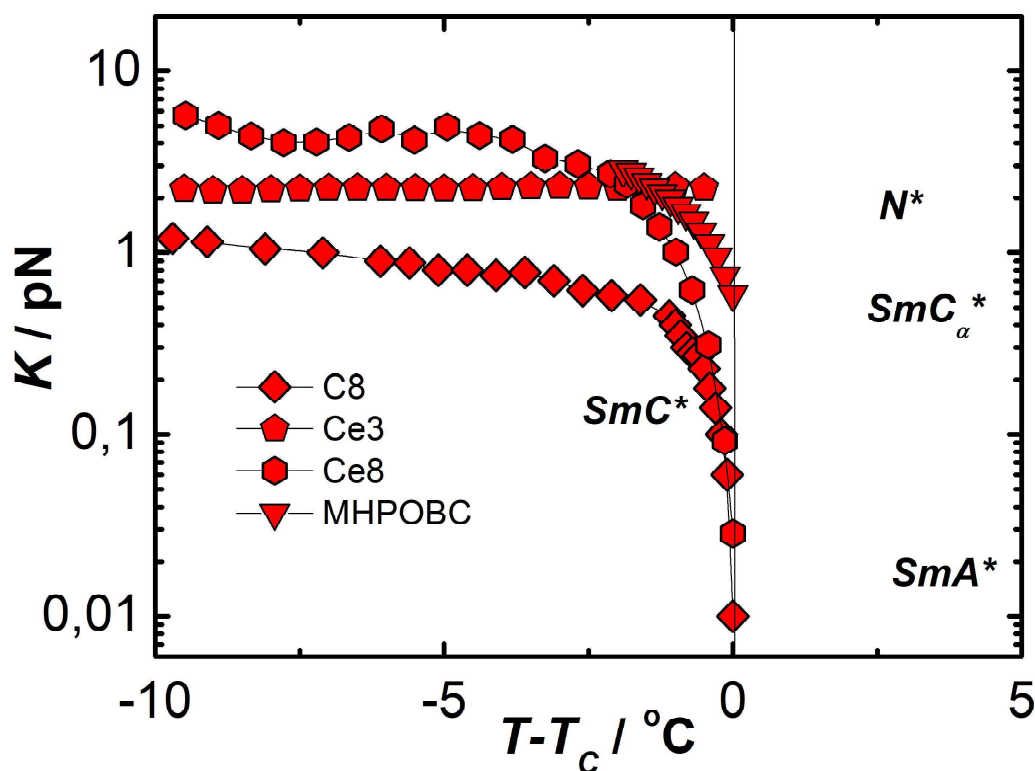
Rysunek 4. Zależność temperaturowa współczynnika lepkości rotacyjnej  $\gamma$  w ferroelektrycznym ciekłym kryształach C8 [H5] uzyskana różnymi metodami. Na wykresie „eo” oznacza metody elektropoptyczne, „diel” dielektryczne, „switch” - metodę przełączania. Grubości próbek planarnych 2, 9  $\mu\text{m}$ , 5  $\mu\text{m}$  oraz 50  $\mu\text{m}$ , grubość próbki homeotropowej 30  $\mu\text{m}$ .

Na Rysunku 4 przedstawiono wyniki lepkości rotacyjnej  $\gamma$  wyznaczone różnymi metodami. Zastosowano skróty, gdzie „diel” oznacza metody dielektryczne, „eo” - elektropoptyczne, „switch” - metodę przełączania a „homeo eo” zaproponowaną przez nas metodę badania próbki zbliżonej do objętościowej. Jak widać, rozbieżność wyników jest znaczna. Metoda przełączania stosowana do wyznaczania współczynnika lepkości rotacyjnej  $\gamma$  wymaga szczególnej uwagi. Jest to najczęściej stosowana metoda. Jak pokazuje Rysunek 4, wyniki uzyskane tą metodą różnią się w znacznym stopniu od wyników wszystkich innych metod. Co więcej, zależność od grubości komórki jest również największa. W związku z tym wyniki uzyskane metodą przełączania należy traktować z dużą ostrożnością.

Skoncentrowano się na metodach wyznaczania właściwości lepkościowych w warunkach niewielkiego wpływu oddziaływań powierzchniowych i w obecności niewielkich deformacji i porównano je z eksperymentami przełączania wywołanymi przepływem turbulentnym. Innym czynnikiem, który silnie wpływa na wyniki eksperymentalne, jest zakotwiczenie powierzchni. Z

reguły współczynniki sprężystości i lepkości mierzono w cienkich, planarnych, powierzchniowo stabilizowanych próbkach. Oddziaływania powierzchniowe są dość słabe w komórkach homeotropowych. Używając typowego ferroelektrycznego ciekłego kryształu, wykazano, że prawidłowe wartości wspomnianych stałych materiałowych w chiralnej smektycznej fazie  $C^*$  najlepiej można określić przy użyciu grubych i homeotropowo uporządkowanych próbek. Metoda ta posiada jednak spore ograniczenie. Mianowicie uzyskanie jednorodnego uporządkowania w grubej, homeotropowej próbce bez użycia bardzo silnego pola elektrycznego jest bardzo trudne. Wyznaczanie stałych materiałowych w próbkach objętościowych jest istotne z punktu widzenia charakterystyki materiałów natomiast najczęstsze zastosowania ferroelektrycznych i antyferroelektrycznych ciekłych kryształów dotyczą wyświetlaczy, modulatorów czy inteligentnych folii, gdzie materiał jest stabilizowany powierzchniowo.

Na Rysunku 5 zebrano wyniki uzyskane, dla różnych materiałów ciekłokrystalicznych o właściwościach ferroelektrycznych uzyskanych nową metodą elektrooptyczną, opisaną w [H3] przy użyciu słabych pól elektrycznych.

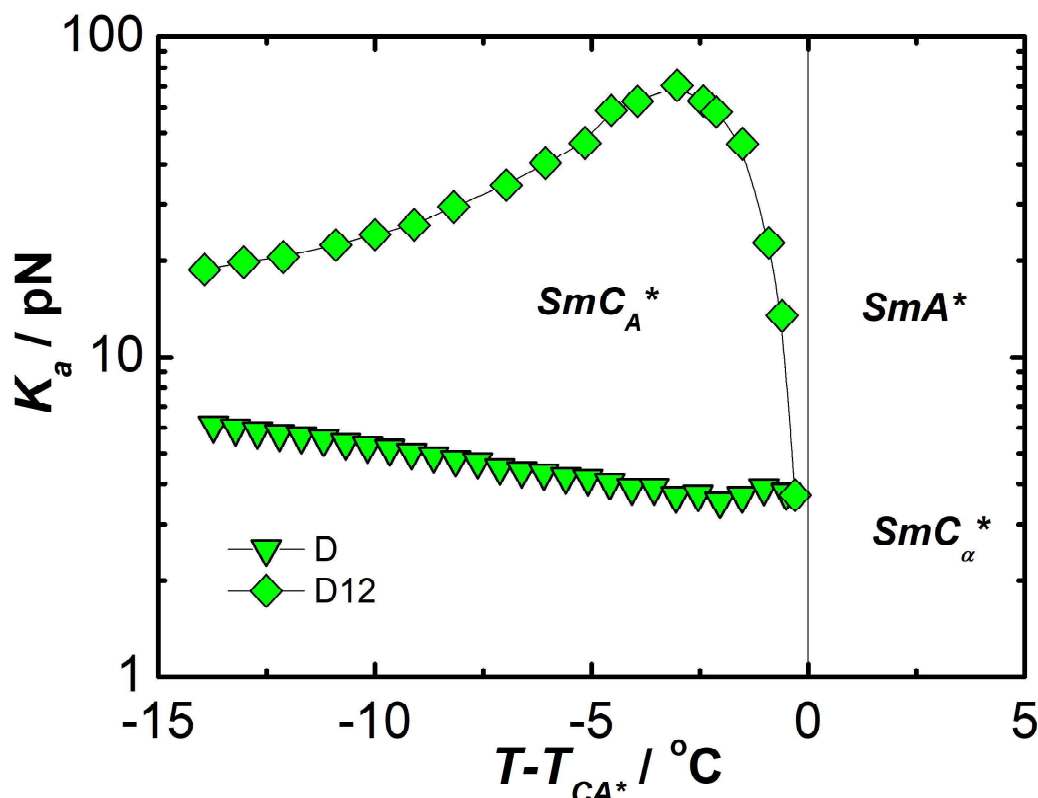


Rysunek 5. Zależność temperaturowa współczynnika sprężystości  $K_\varphi$  w chiralnych ciekłych kryształach z fazą ferroelektryczną:  $C8$  (romby) [H5],  $Ce3$  (diamenty) [H6-H7],  $Ce8$  (sześciokąty) [H6-H7],  $MHPOBC$  (trójkąty) [H8] uzyskane metodą elektrooptyczną przy zastosowaniu niskich pól elektrycznych.

Na podstawie uzyskanych wyników zaobserwowano, że charakter temperaturowej zależności współczynników sprężystości  $K_\varphi$  silnie zależy nie tylko od rodzaju ciekłego kryształu, ale znacznie bardziej od charakteru przejścia fazowego do fazy sąsiedniej. Współczynnik elektrooptyczny gwałtownie znika (a w praktyce radykalnie zmienia swoją wartość i charakter)

w przypadku przejścia do, również chiralnej, fazy cholesterycznej  $N^*$ . Przechodząc do fazy paraelektrycznej  $A^*$  współczynnik sprężystości  $K_\varphi$  zaczyna gwałtownie maleć zbliżając się do przemiany fazowej i znika w temperaturze przejścia do fazy niechiralnej. Inaczej sytuacja wygląda w przypadku antyferroelektrycznego ciekłego kryształu  $MHPOBC$ , w którym faza ferroelektryczna z obu stron graniczy z chiralnymi fazami ferroelektrycznymi:  $Sm_\alpha$  oraz  $Sm_\gamma$ . W tym przypadku można założyć, że  $K_\varphi$  będzie monotonicznie zanikać dopiero w fazie  $Sm_\alpha$ .

Na Rysunku 6 przedstawione zostały wyniki zależności temperaturowej współczynnika sprężystości  $K_a$  dla chiralnych ciekłych kryształów z fazami o własnościach antyferroelektrycznych  $D12$  [H4] oraz  $MHPOBC$  [H8].

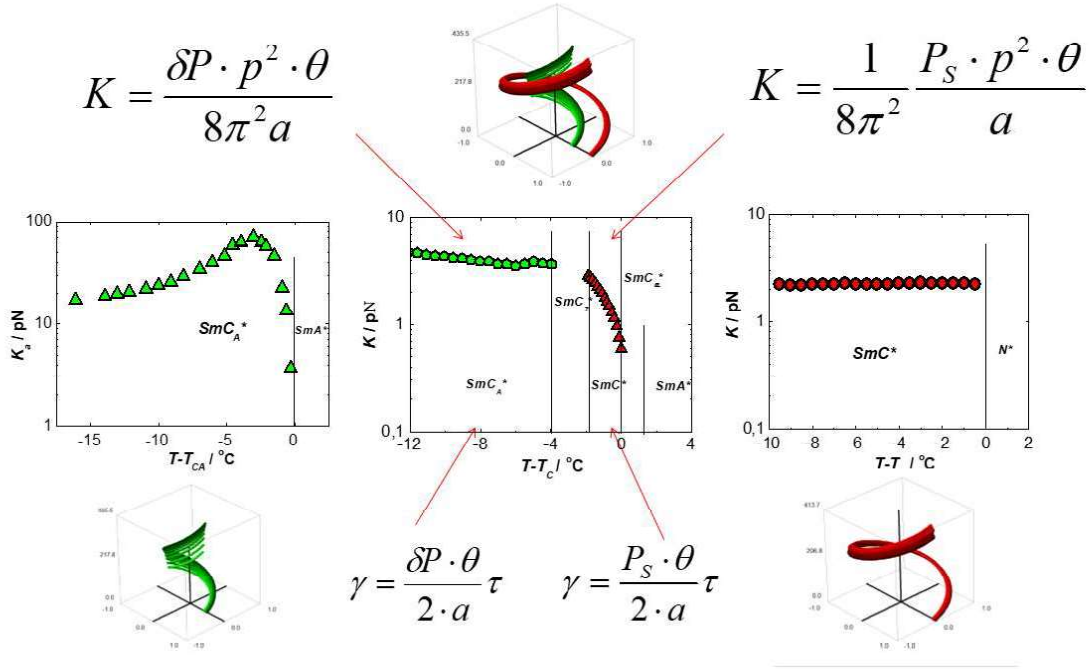


Rysunek 6. Zależność temperaturowa współczynnika sprężystości  $K_a$  w chiralnych ciekłych kryształach z fazą antyferroelektryczną:  $D12$  (romby) [H4],  $MHPOBC$  (trójkąty) [H8] uzyskane metodą elektrooptyczną przy zastosowaniu niskich pól elektrycznych.

Jak pokazano na Rysunku 6,  $K_a$  wykazuje dość silną zależność od temperatury, szczególnie w pobliżu temperatury krytycznej przejścia z fazy  $SmC_a^*$  do  $SmA$ . W fazie paraelektrycznej parametr  $K_a$  ma wartość zerową (z definicji). Godne uwagi jest również to, że  $K_a$  przyjmuje stosunkowo duże wartości w porównaniu z ogólnie przyjętymi wielkościami stałej sprężystości w ferroelektrycznych ciekłych kryształach (Rysunek 3) [H5]. Można to interpretować jako usztywnienie układu ze względu na prawie antyrównoległą orientację momentów elektrycznych cząsteczek w sąsiednich warstwach smektycznych. Gdy temperatura rośnie (odpowiednio poniżej temperatury krytycznej  $T_C$ ),  $p$  wzrasta, a  $\delta P$  jednocześnie maleje, co prowadzi do wzrostu uśrednionej w czasie energii oddziaływania dipol-dipol między cząsteczkami sąsiednich warstw smektycznych [H4]. W konsekwencji, wraz ze wzrostem temperatury, efekt usztywnienia staje się silniejszy, a tym samym  $K_a$  początkowo wzrasta. Późniejszy gwałtowny spadek współczyn-

nika sprężystości  $K_a$  w pobliżu  $T = T_C$  jest spowodowany szybkim zanikiem kąta pochylenia w obszarze krytycznym. Stała sprężystości w materiale *MHPOBC* w fazie antyferroelektrycznej łagodnie zmniejsza swoją wartość wraz ze wzrostem temperatury.

Podsumowując, liczba, charakter i kolejność przejść fazowych mogą wpływać na właściwości lepkosprężyste materiału. Nieliczne ciekłe kryształy zbadane do tej pory nie pozwalają na uogólnione wnioski dotyczące etiologii obserwowanych różnic. Wysłunięto hipotezę, że decydującą rolę odgrywa tu chiralność oraz podatność na pole elektryczne.



Rysunek 7. Stała sprężystości  $K_\varphi$  w funkcji temperatury dla trzech różnych materiałów w zakresie niskiego pola elektrycznego: *D12*, *MHPOBC* i *Ce* – 3 pokazujące różne zależności stałej sprężystości w zależności od rodzaju sąsiednich faz. Aby zilustrować różnicę w zachowaniu helisy, pokazano schematyczne rysunki dla jednego okresu skoku dla zbadanych związków [H8].

Właściwości lepkosprężyste są jedną z najbardziej fundamentalnych właściwości chiralnych ciekłych kryształów. Ogólnie rzecz biorąc, ich określenie nie jest prostym zadaniem. Głównym problemem jest mnogość parametrów fizycznych potrzebnych do określenia wartości stałych sprężystości i lepkości. Konieczne jest również uwzględnienie charakteru danej fazy. Problem ten jest szczególnie ważny w przypadku faz chiralnych, takich jak fazy ferroelektryczne i antyferroelektryczne. Istnieje kilka eksperymentalnych metod pomiaru stałych lepkości i elastyczności w fazach chiralnych. Metody te wykorzystują różne zjawiska do wykrywania deformacji, np. transmisję światła, prąd polaryzacji, modulację światła, stałą dielektryczną i odkształcenie lub rozwijanie helisy. Zwykle do wywołania deformacji stosuje się zewnętrzne pole elektryczne, którego jednorodność wewnątrz komórki jest niezbędna. Metodę wyznaczania współczynnika sprężystości  $K_\varphi$  czy lepkości rotacyjnej  $\gamma$  niejednokrotnie determinuje cel, do jakiego ma zostać wykorzystany badany materiał. Jeżeli potrzebujemy informacji dotyczących stałych mechanicznych typu objętościowego, wówczas najpewniejsze okazuje się zastosowanie

grubej komórki homeotropowej do wszystkich wyznaczanych parametrów. Materiały ciekłokrystaliczne o właściwościach ferroelektrycznych i antyferroelektrycznych najczęściej stosuje się w modulatorach światła, wyświetlaczach czy inteligentnych foliach, gdzie ciekły kryształ jest powierzchniowo stabilizowany. W tym przypadku najbardziej odpowiednia jest metoda wykorzystująca liniowy współczynnik elektrooptyczny  $a$  w celu określania własności lepkośćowych z zachowaniem warunku małych odkształceń.

Powyżej omówione zostało **osiągnięcie habilitacyjne** tworzące cykl powiązanych tematycznie publikacji [H1-H5]. Moje wyniki pracy naukowej nie ograniczają się tylko do przedstawionego osiągnięcia. Bardzo cenię sobie mój wkład w możliwość wyznaczania dwójłomności w ciekłych kryształach, zarówno nematycznych [42], smektycznych [43], w fazach chiralnych o właściwościach antyferroelektrycznych oraz kompozytach [44] przy zastosowaniu adekwatnych metod: metoda prążków Newtona, metoda PEM (ang. photoelastic modulation) oraz z analizy tekstur ze swobodnej kropli ciekłego kryształu. W przypadku smektyków chiralnych nadal brakuje znormalizowanej metody. Dodatkowym osiągnięciem jest również określanie skoku śruby [45 - 46] w materiałach ferroelektrycznych i antyferroelektrycznych domieszkowanych nanocząsteczkami oraz opanowanie metody wizualizacji 3D struktury przy użyciu fluorescencyjnej mikroskopii polaryzacyjno-konfokalnej (FMPK). Warto również podkreślić mój wkład w uzyskiwanie wartości stałej Kerra dla materiałów wykazujących fazy błękitne. Wyniki wykazujące dyspersję stałej Kerra pokazują, że w przypadku faz błękitnych powinniśmy również rozważać jej temperaturową zależność oraz wpływ długości światła padającego [47].

Istotny jest także mój udział w rozwinięciu i znacznym poszerzeniu aktywności dotyczących popularyzacji nauki w Instytucie Fizyki Molekularnej Polskiej Akademii Nauk, działań na rzecz bezpośredniego wpływu na społeczność lokalną, promocji rozwoju i nauki oraz ambasadowanie celom społecznym, które nie są bezpośrednio związane z moją dziedziną naukową (otwartość na osoby ze specjalnymi potrzebami, aktywizacja zawodowa osób z niepełnosprawnościami oraz ich opiekunów).

## Literatura

[1] S.T. Lagerwall S.T., Chirality, Symmetry and Physical Effects w: Chiral Liquid Crystals, s. 185-222, ed. W. Kuczyński, IFM PAN, Poznań 2005.

[2] A. D. I. ChandaniI, E. Górecka, Y. Ouchi, H. Takezoe, A. Fukuda, Japan. J. Appl. Phys. 28, L1265-8 (1989).

[3] W. Kuczyński, Electro-optical studies of relaxation processes in chiral smectic liquid crystals. In: Haase W, Wróbel S, editors. Relaxation phenomena. Berlin: Springer-Verlag; 2003. p. 422-444.

[4] W. Kuczyński, D. Dardas, F. Goc, and R. Dąbrowski, Ferroelectrics 274, 191-199 (2000).

[5] Dardas D, Kuczyński W., Opto-Electron Rev. 2004;12 (3):277-280.

[6] D. Dardas, W. Kuczyński, J. Hoffmann, , Phase Transit. 79(3), 213-222 (2006).

[7] W. Jeżewski†, W. Kuczyński†, J. Hoffmann†, D. Dardas, Opto-Electron. Rev. 16(3), 281-286 (2008).

[8] D. Dardas, W. Kuczyński†, J. Hoffmann†, W. Jeżewski†, K. Nowicka, J. Małecki†,



Opto-Electron. Rev. 17(1), 25–29 (2009).

[9] K. Nowicka, M. Knapkiewicz, N. Bielejewska, D. Dardas, W Kuczyński†, J. Hoffmann†, Liq. Cryst. 43 (12), 1778-1783 (2016).

[10] W. Kuczyński†, J. Hoffmann†, D. Dardas, K. Nowicka, N. Bielejewska, Appl. Phys. Lett. 107, 191908 (2015).

[11] P.G. de Gennes, The Physics of Liquid Crystals, Claredon Press, Oxford (1974).

[12] I. Dahl, S.T. Lagerwall, Ferroelectrics 58, 215 (1984).

[13] K. Skarp, Ferroelectrics 84, 119 (1988).

[14] P. Pierański, E.Guyon, P.Keller, J.Phys. (France) 36, 1005 (1975).

[15] N.A. Clark, S.T.Lagerwali, Appl. Phys. Lett., 36, 899 (1980).

[16] K. Flatischler, K. Skarp, S.T. Lagerwall, B. Stebler, Mol. Cryst. Liq. Cryst., 131, 21 (1985).

[17] I. Dahl, S.T. Lagerwall, K. Skarp, Phys. Rev. A 36, 4380 (1987).

[18] T. Geelhaar, C. Escher, E. Böhm, XVII—Freiburger Arbeitstagung Flissigkristalle, p.16 (1987).

[19] W. Kuczyński, Ber. Bunseeges. Phys. Chem., 85, 234 (1981).

[20] W. Kuczyński, S.T. Lagerwall, B. Stebler, Proc.11-th Int. Liquid Crystal Conference, Berkeley O-035-FE (1986).

[21] F. Gouda, K. Skarp, G. Andersson, H. Kresse, S.T. Lagerwall, Jap. J. Appl. Phys. 28(10), 1887 (1989).

[22] A. Levstik, Z. Kutnjak, J. Levstik, B. Zeks, Ferroelectrics 109, 267 (1990).

[23] H. Kawaida, T.Akahane, Jap. J. Appl. Phys. 29(2), 340 (1990).

[24] A. Ezcurra, M.A. Perez Jubindo, M.R. De La Fuente, J. Etxebarria, A. Remon, M.J. Tello, Liq. Cryst. 4, 125 (1989.)

[25] I.W. Hamley, Soft Matter 6, 1863-1871 (2010)

[26] T. Yevchenko, D. Dardas, W. Kuczyński, A. C. Brańka, Phys. Rev. E 206, 14701 (2022).

[27] M. Knapkiewicz, A. Rachocki, M. Bielejewski, P. J. Sebastião, Phys. Rev. E 101, 52708 (2020), 101, s. 52708.

[28] S. Lalik, O. Stefańczyk, D. Dardas, N. Górska, Sh.-I. Ohkoshi, M. Marzec, Materials, 14(16), 4722 (2021).

- [29] S. Lalik, O. Stefańczyk, D. Dardas, A. Deptuch, T. Yevchenko, Sh.-I. Ohkoshi, M. Marzec, *Molecules*, 27(12), 3663 (2022).
- [30] A. Rešetič, J. Milavec, V. Domenici, B. Zupančič, A. Bubnov, B. Zalar, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 22, 23064-23072 (2020).
- [31] P. Pierański, E. Guyon, P. Keller, L. Liebert, W. Kuczyński, P. Pierański, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 38 275–301 (1977).
- [32] Y. P. Panarin, O. Kalinovskaya, J. K. Vij, *Liq. Cryst.* 25, 241–252, 1998.
- [33] H. Diamant, K. Drenck, R. Pepinsky, *Rev. Sci. Instrum.* 28, 30 (1957).
- [34] F. Yang, G.W. Bradberry and J.R. Sambles, *Phys. Rev. E* 53(1), 674 (1996).
- [35] Ch. Rosenblatt, R. Pindak, N.A. Clark, R.B. Meyer, *Phys. Rev. Lett.* 42, 1220 (1979).
- [36] M. Kawaida, T. Akahane, *Jap. J. Appl. Phys.* 29(2), 340 (1990).
- [37] Y. Sah and K.A. Suresh, *Liq. Cryst.* 24, 701 (1998).
- [38] Kuczyński W., *Phys. Rev. E* 81, 021708 (2010).
- [39] R.B. Meyer, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 40, 33 (1977).
- [40] H. Takezoe, K. Kondo, K. Miyasato, S. Abe, T. Tsuchiya, A. Fukuda and E. Kuze, *Ferroelectrics* 58, 55 (1984).
- [41] W. Kuczynski, S.T. Lagerwall and B. Stebler, 11th Int. Liq. Cryst. Conf., O-035-FE (Berkeley, 1986).
- [42] I. Niezgoda, E. Szypszak, D. Dardas, Z. Galewski, *Phase Transit.* 89 393–402, (2016).
- [43] A. Modlińska, D. Dardas, J. Jadżyn, D. Bauman, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 542 28/[550]–36/[558], (2011).
- [44] S. Lalik, A. Deptuch, T. Jaworska-Gołab, P. Fryń, D. Dardas, O. Stefańczyk, M. Urbańska, M. Marzec, *J. Phys. Chem. B*, 124, 6055–6073,(2020).
- [45] S. Lalik, O. Stefańczyk, D. Dardas, N. Górska, Sh.-I. Ohkoshi, M. Marzec, *Materials*, 14, 4722 (2021).
- [46] S. Lalik, O. Stefańczyk, D. Dardas, A. Deptuch, T. Yevchenko, Sh.-I. Ohkoshi, M. Marzec, *Molecules* 27, 3663 (2022).
- [47] T. Yevchenko, D. Dardas, W. Kuczyński, A.C. Brańka, *Phys. Rev. E* 206, 014701 (2022).



5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

#### **5.1. Landau Institute for Theoretical Physics, Rosja / Moskwa, uczelnia lub instytucja naukowa poza Polską Pobyt: 27 dni**

5.1.1. Pobyt stażowy 11.10.-7.11.2004. Cel wyjazdu: naukowo-badawczy. Wykonanie badań rozkładu директора nematycznych ciekłych kryształów w warunkach słabego kotwiczenia. Porównanie otrzymanych danych eksperymentalnych z teorią. Konsultacje naukowe. Wygłoszone seminarium: "Restoration of weak surface anchoring potential in liquid crystals".

5.1.2. Wspólny projekt badawczy Polskiej Akademii Nauk i Rosyjskiej Akademii Nauk, PAN-RAN 2011-2013: Wyznaczanie potencjału słabego kotwiczenia powierzchniowego w ciekłych kryształach, wykonawca projektu, 2011-2013.

5.1.3. Pomiary kąta kotwiczenia, wspólne wystąpienia konferencyjne oraz publikacja naukowa (Director Distribution And Surface Anchoring Potential In Grandjean-Cano Wedge, Liquid Crystals, 2014).

#### **5.2. Institut für Physikalische Chemie, Technische Universität Stuttgart, Niemcy / Stuttgart, uczelnia lub instytucja naukowa poza Polską Pobyt: 7 dni**

5.2.1. Cel wyjazdu: naukowo - badawczy. Omówienie wyników pomiarów molekularnego kąta pochylenia w ferroelektrycznych i antyferroelektrycznych ciekłych kryształach. Pomiary SACHS, niskokątowego rozpraszania rentgenowskiego, pomiary skoku grubości warstw. Omówienie planów dalszej współpracy. 2005.

#### **5.3. Instytut Fizyki Politechniki Krakowskiej, Polska / Kraków, uczelnia wyższa w Polsce**

5.3.1. Wykłady prozowane „Zastosowanie metod elektrooptycznych do badań własności smektyków chiralnych”, jeden dla pracowników instytutu, drugi dla studentów, 2010.

#### **5.4. Instytut Fizyki Jądrowej PAN, Kraków, Polska / Kraków, uczelnia wyższa w Polsce**

5.4.1. Wykład/seminarium dla pracowników Instytutu Fizyki Jądrowej PAN oraz pracowników Instytutu Fizyki UJ p.t.: „Smektyki chiralne i ich własności lepkosprężyste badane metodami elektrooptycznymi”, 2010.

#### **5.5. Instytut Fizyki Czeskiej Akademii Nauk, Czechy / Praga, uczelnia lub instytucja naukowa poza Polską Razem pobyt: 30 dni**

5.5.1. Cel wyjazdu: naukowo-badawczy. Zapoznanie się z możliwościami badawczymi grupy zajmującej się wytwarzaniem i badaniami podstawowymi ciekłych kryształów. Omówienie możliwości rozpoczęcia bilateralnej współpracy naukowej. Prezentacja ustna: "Determination

of the rotational elasticity and viscosity in smectic liquid crystals using weak electric field”, seminarium Liquid Crystal Group Department of Dielectrics, Institute of Physics Academy of Sciences of the Czech Republic, Prague, Czech Republic, 2009. Pobyt: 5 dni

5.5.2. Realizacja wspólnego bilateralnego projektu badawczego PAN-CzAN 2010-2012: Ferroiczne przemiany fazowe w multiferroikach, przewodnikach superprotonowych i ciekłych kryształach. Cel wyjazdu: naukowo-konferencyjny do Instytutu Fizyki CzAN, podczas wyjazdu dodatkowo uczestnictwo w ”XIX Czech-Polish Seminar Structural and ferroelectric phase transitions, poster “Viscosity in an Antiferroelectric Liquid Crystal, 2010 Pobyt: 6 dni

5.5.3. Realizacja wspólnego bilateralnego projektu badawczego PAN-CzAN 2014-2016: Ferroiczne przemiany fazowe w multiferroikach, przewodnikach superprotonowych i ciekłych kryształach. Cel wyjazdu: naukowo-konferencyjny do Instytutu Fizyki CzAN oraz 15th International Conference on Ferroelectric Liquid Crystals, 2015, prezentacja posteru pt.: “Image processing technique for liquid crystalline blue phases optical textures analysis” and “Orientational order of some liquid crystal/dye mixtures, 2015. Pobyt: 6 dni

5.5.4. Wymiana doświadczeń naukowych, wyznaczanie charakterystyk nowych ciekłych kryształów, ocena pod kątem przydatności aplikacyjnej. Realizacja wspólnego projektu badawczego Polskiej Akademii Nauk i Czeskiej Akademii Nauk, PAN-CzAN 2016-2018: Przejścia fazowe w nanokompozytach, multiferroikach, przewodnikach jonowych i ciekłych kryształach. Prezentacja posteru: “Electro-optic and viscoelastic properties of a ferroelectric liquid crystalline binary mixture”, XXIII Czech-Polish Seminar, Structural and ferroelectric phase transitions, 2018. Pobyt: 5 dni

5.5.5. Cel wyjazdu: naukowo – badawczy, do Instytutu Fizyki Czeskiej Akademii Nauk w ramach dwustronnego projektu “Ferroic phase transitions in multiferroics, superprotonic conductors and liquid crystals”. Wykład pt. “Correlation between optical and electrooptical behavior in chiral ferroelectric liquid crystals” podczas panelu dyskusyjnego w Zakładzie Dielektryków Instytutu Czeskiej Akademii Nauk. Badanie i analiza własności nowo-zsyntezowanych ciekłych kryształów o zróżnicowanej długości łańcuchów chiralnych, 2019. Pobyt: 8 dni

## **5.6. Uniwersytet Wrocławski, Wydział Chemii, Polska / Wrocław, uczelnia wyższa w Polsce**

5.6.1. Wymiana doświadczeń, wspólne badania elektrooptycznych i dielektrycznych azowych ciekłych kryształów. Wspólna prezentacja na konferencji oraz publikacja (Liquid-crystalline polymorphism of symmetrical azobananas: bis(4-(4-alkylphenyl) azophenyl) 2-nitroisophthalates, Molecular Crystals Liquid Crystals, Vol. 509, 2009, 283[1025]–291[1033]. 2009.

5.6.2. Wymiana doświadczeń, wspólne badania własności elektrooptycznych i dielektrycznych oraz dwójłomności ciekłych kryształów w IFM PAN. Wspólna publikacja naukowa: Influence of the ester chain length on the mesogenic behavior and optical anisotropy of 4-[[4-(butoxy)phenyl] diazenyl]phenyl alkanoates, Phase Transitions, 2016.

## **5.7. Uniwersytet Jagielloński, Zakład Inżynierii Nowych Materiałów Instytutu Fizyki, Polska / Kraków, uczelnia wyższa w Polsce**

5.7.1. Współorganizacja konferencji „23rd International Liquid Crystal Conference (ILCC 2010)”, Kraków, Poland, członek Komitetu Organizacyjnego, 2009-2010.

5.7.2. Wymiana doświadczeń naukowych, pomiary charakterystyk elektrooptycznych i dielektrycznych nowych ciekłych kryształów, ocena pod kątem przydatności aplikacyjnej. Wspólna publikacja naukowa New antiferroelectric liquid crystal for use in LCD, Phase Transitions, 2016.

5.7.3. Wymiana doświadczeń naukowych, pomiary charakterystyk elektrooptycznych i dielektrycznych nowych ciekłych kryształów, ocena pod kątem przydatności aplikacyjnej. Seminarium PTC, prezentacja ustna, „Elektrooptyczne i wiskoelastyczne właściwości chiralnych ciekłych kryształów”, 2018.

5.7.4. Badania własności elektrooptycznych ferroelektrycznych ciekłych kryształów, pomiary anizotropii optycznej w smektykach, ocena przydatności nowych materiałów ciekłokrystalicznych do zastosowań, wspólna publikacja Systematic study of the chiral smectic phases of a fluorinated compound, Liquid Crystals, 46(15), pp. 2256–2268, 2019.

5.7.5. Współpraca w ramach badań podstawowych, konferencyjnych, publikacyjnych (Modification of AFLC Physical Properties by Doping with BaTiO<sub>3</sub> Particles, Journal of Physical Chemistry B, 124(28), pp. 6055–6073, 2020), wymiany doświadczeń, konsultacji, 2020.

5.7.6. Wymiana wiedzy i doświadczeń naukowych, udostępnianie materiałów do badań, komplementarne pomiary własności i możliwości nowych materiałów ciekłokrystalicznych i hybrydowych. Efekty współpracy prezentowane są w publikacjach (Modifications of FLC Physical Properties through Doping with Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanoparticles (Part I), Materials, 2021) oraz wystąpieniach konferencyjnych, 2021.

5.7.7. Wspólne badania dotyczące kompozytów ciekłokrystalicznych o własnościach ferro- i antyferroelektrycznych z nanocząstkami metali, wspólne publikacje naukowe (Nanocomposites Based on Antiferroelectric Liquid Crystal (S)-MHPOBC Doping with Au Nanoparticles, Molecules, 2022, 27(12)), i wystąpienia konferencyjne, 2022

5.7.8. Wspólne badania dotyczące kompozytów ciekłokrystalicznych o własnościach ferro- i antyferroelektrycznych z nanocząstkami metali, wspólne publikacje naukowe i wystąpienia konferencyjne. Wspólna publikacja naukowa: Electro-Optic Effect of Laser Photobleaching on Viscoelastic Properties of Chiral Liquid Crystals, Crystals, 2023, 13(2), wspólne badania własności fizycznych miódów czystych i domieszkowanych – w toku, 2023.

## **5.8. Wojskowa Akademia Techniczna w Warszawie, Polska / Warszawa, uczelnia wyższa w Polsce**

5.8.1. Wymiana doświadczeń naukowych, wyznaczanie charakterystyk nowych ciekłych kryształów, ocena pod kątem przydatności aplikacyjnej. Wspólna publikacja naukowa (Linear and quadratic electrooptic effects in antiferroelectric liquid crystals, Ferroelectrics, 244, 2000, 191-199, 2000.

5.8.2. Wymiana doświadczeń naukowych, wyznaczanie charakterystyk nowych ciekłych kryształów, ocena pod kątem przydatności aplikacyjnej. Wspólna publikacja naukowa (Phases and phase transitions in a liquid-crystalline material exhibiting long-range dipole order, Ferroelectrics, 274, 2002, 83-100, 2002.

5.8.3. Wymiana doświadczeń naukowych, wyznaczanie charakterystyk nowych ciekłych

kryształów, ocena pod kątem przydatności aplikacyjnej. Wspólna publikacja naukowa (High permittivity of chiral tilted smectic phases in a binary mixture, *Phase Transitions*, Vol.86, 2013, 153-160, 2013.

5.8.4. Wymiana doświadczeń naukowych, wyznaczanie charakterystyk nowych ciekłych kryształów, ocena pod kątem przydatności aplikacyjnej. Wspólna publikacja naukowa (Systematic study of the chiral smectic phases of a fluorinated compound, *Liquid Crystals*, 46(15), pp. 2256–2268, 2019.

5.8.5. Wymiana doświadczeń naukowych, wyznaczanie charakterystyk nowych ciekłych kryształów, ocena pod kątem przydatności aplikacyjnej. Wspólna publikacja naukowa, Modification of AFLC Physical Properties by Doping with BaTiO<sub>3</sub> Particles, *Journal of Physical Chemistry B*, 124(28), pp. 6055–6073, 2020.

5.8.6. Wymiana wiedzy i doświadczeń naukowych, udostępnianie materiałów do badań, komplementarne pomiary własności i możliwości nowych materiałów ciekłokrystalicznych i hybrydowych. Efekty współpracy prezentowane są w publikacjach oraz wystąpieniach konferencyjnych. W toku, 2023.

## **5.9. Politechnika Poznańska, Wydział Fizyki Technicznej, Polska / Poznań, uczelnia wyższa w Polsce**

5.9.1. Wspólne pomiary w IFM PAN do z doktorantką PP. Wspólne publikacje naukowe oraz prezentacje konferencyjne (Order Parameter of Some Liquid Crystals Determined by Optical Methods), Wykład na Politechnice Poznańskiej dla uczniów Szkół Podstawowych i Gimnazjalnych z serii „Piękno Fizyki” pt. Niezwykły świat ciekłych kryształów”, 2010

5.9.2. Wspólne pomiary w IFM PAN do z doktorantką PP. Wspólne publikacje naukowe Characterization of some fluorinated mesogenes for application in liquid crystal displays, *Mol. Cryst. Liq. Crystals* 542, 28, 2011

5.9.3. Badania materiałowe substancji ciekłokrystalicznych, analiza możliwości wytwarzania materiałów hybrydowych, praktyka studenta PP, 2019

5.9.4. Badania materiałowe substancji ciekłokrystalicznych, analiza możliwości wytwarzania materiałów hybrydowych, praktyka studenta PP, współpraca związana z realizacją programu unijnego HORIZON: H2020-MSCA-NIGHT-2020, H2020-MSCA-NIGHT-2020, HORIZON-MSCA-2020-CITIZENS wraz z partnerami: UAM, UP, IChB PAN, PCSS, UE, AWF IGCz PAN. 2020

5.9.5. Współpraca związana z realizacją programu unijnego HORIZON: H2020-MSCA-NIGHT-2020, H2020-MSCA-NIGHT-2020bis, HORIZON-MSCA-2020-CITIZENS wraz z partnerami: UAM, UP, IChB PAN, PCSS, UE, AWF IGCz PAN. 2021. Prowadzenie pracowni specjalistycznej i pracowni specjalistycznej dyplomowej (inżynierskiej) dla studentki PP. 2021

5.9.6. Współpraca związana z realizacją programu unijnego HORIZON: HORIZONE EUROPE wraz z partnerami: PP (koordynator), UAM, UP, IChB, PCSS, AWF, UE, IGCz. Praca inżynierska, praktyki, praca magisterska, wspólne publikacje naukowe, 2022

5.9.7. Współpraca związana z realizacją programu unijnego HORIZON: HORIZONE EU-

ROPE 2022-2024 wraz z partnerami: PP (koordynator), UAM, UP, IChB, PCSS, AWF, UE, IGCz. Zatrudnienie w PP w ramach wzajemnej Umowy o Współpracy - promotor pracy magisterskiej, wspólne publikacje naukowe (Electro-Optic Effect of Laser Photobleaching on Viscoelastic Properties of Chiral Liquid Crystals), 2023

#### **5.10. Jožef Stefan Institute, Condensed Matter Physics Department, Słowenia/Lublana, uczelnia lub instytucja naukowa poza Polską**

5.10.1. Zaproszenie wyjazdowe, przedstawienie seminarium oddziałowego. Przedstawienie osiągnięć Zespołu Fizyki Ciekłych Kryształów i nawiązanie dalszej współpracy naukowej. Pobyt w JSI w Lublanie, wygłoszenie seminarium p.t.: Electrooptical and viscoelastic properties in chiral liquid crystals, Jožef Stefan Institute, Condensed Matter Physics Department, 2022. Pobyt: **11 dni**

5.10.2. Zaakceptowany wniosek w ramach bilateralnej wymiany osobowej PAN. Staż w JSI w Lublanie. Zaproszenie wyjazdowe, przedstawienie seminarium oddziałowego. Plan dalszej współpracy naukowej. Możliwy projekt bilateralny PAN-SAZU. Planowane 10 dni (3-13.10.2023).

#### **5.11. National Institute of Materials Physics Laboratory of Functional Nanostructures, Rumunia / Bukareszt, uczelnia lub instytucja naukowa poza Polską**

5.12.1. Zaakceptowany wniosek w ramach bilateralnej wymiany osobowej PAN. Staż w JSI w Lublanie. Zaproszenie wyjazdowe, przedstawienie seminarium oddziałowego. Plan dalszej współpracy naukowej. Możliwy projekt bilateralny PAN-RAN. Planowane 10 dni (4.11.-14-11.2023).

*\*Syn ur. 31.07.2001- niepełnosprawność w stopniu znacznym, sprzężona, niezdolny do samodzielnej egzystencji (mózgowe porażenie dziecięce, spektrum autyzmu, padaczka lekooporna, niepełnosprawność intelektualna w stopniu umiarkowanym), córka ur. 13.09.2013 – niepełnosprawność (spektrum autyzmu, padaczka)*

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

### **DZIAŁALNOŚĆ DYDAKTYCZNA:**

6.1. **Promotor pomocniczy pracy doktorskiej**, proponowany temat: „Stała Kerra w optycznie izotropowych ciekłych kryształach”, praca jest realizowana w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, w dyscyplinie nauki fizyczne. Współopiekun naukowy od 2018 roku. Praca realizowana całkowicie w IFM PAN, Poznań 2023.

6.2. **Promotor pracy dyplomowej magisterskiej**, praca ”Badanie wybranych własności optycznych i elektrooptycznych w układach ciekłokrystalicznych domieszkowanych barwnikiem fluorescencyjnym” całkowicie wykonana przy użyciu aparatury IFM PAN, (Wydział Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej, Politechnika Poznańska), obrona 22.06.2023, Poznań 2023.

**6.3. Pracownia specjalistyczna magisterska-** 100 godzin/semestr – opiekun naukowy (Wydział Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej, PP Politechnika Poznańska – semestr letni); 2022.

**6.4. Promotor pracy dyplomowej inżynierskiej,** praca "Badanie wybranych własności optycznych i elektrooptycznych w układach ciekłokrystalicznych domieszkowanych barwnikiem fluorescencyjnym" całkowicie wykonana przy użyciu aparatury IFM PAN, (Wydział Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej, Politechnika Poznańska), obrona 4.02.2022, Poznań 2022.

**6.5. Pracownia specjalistyczna inżynierska-** 100 h/semestr – opiekun naukowy (Wydział Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej, PP Politechnika Poznańska – semestr letni); 2021.

**6.6.** Wykłady adresowane do młodzieży z 8 klas Szkoły Podstawowej, "Spotkania z nauką - chiralność w przyrodzie", Zespół Szkół im. Kryptologów poznańskich w Luboniu, ul. Armii Poznań 27, Luboń, 2020;

**6.7.** Wakacyjna praktyka studencka, Wydział Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej, Politechnika Poznańska, - 160 h, 2020.

**6.8.** Wykłady (po 30min) + warsztaty (po 60 min) dla dwóch klas, "Spotkania z nauką- światło i cień", Szkoła Podstawowa, klasy 3 gimnazjum, Luboń, 2019.

**6.9. Wakacyjna praktyka studencka,** Instytut Inżynierii Materiałowej, Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania, Politechnika Poznańska, - 160h, 2019.

**6.10.** Warsztaty dla dzieci i młodzieży pt. „Świat miękkiej materii i ciekłych kryształów”, IFM PAN, 2018.

**6.11.** Warsztaty dla klas trzecich pt. „Ciekłe kryształy w technice i medycynie” Gimnazjum nr1, im. Kardynała Stefana Wyszyńskiego, ul. Amii Poznań 27 w Luboniu, 2015.

**6.12. Praktyka studencka,** Politechnika Poznańska Wydział Fizyki Technicznej - 160 h, 2015.

**6.13.** Wykład prozowany w Centrum Konferencyjnym Ośrodka Nauki PAN z okazji 40-lecia Instytutu Fizyki Molekularnej PAN, „Ciekłe kryształy”, 2015

**6.14. Praktyka studencka** (Wydział Fizyki Technicznej Politechnika Poznańska) - 40 h, 2011.

**6.15.** Wykład dla studentów, Smektyki chiralne i ich własności lepkosprężyste badane metodami elektrooptycznymi”, Politechnika Krakowska, 1,5 h, 2010.

**6.16.** Szkolenie, IFM PAN, Metody pomiaru anizotropii optycznej w nematycznych i smektycznych ciekłych kryształach (doktorantka PP), 60 h, 2010.

**6.17. Pracownia specjalistyczna** - 100 h/semestr – opiekun (dla studentów Politechniki Poznańskiej – semestr letni), 2008

6.18. Opiekun naukowy pracy magisterskiej –E. Maśko (Politechnika Poznańska), 2008.

6.19. **Pracownia specjalistyczna** - 100 h/semestr – opiekun (dla studentów Politechniki Poznańskiej – semestr letni); 2007.

6.20. **II pracownia studencka** - 36 h/semestr - opiekun (dla studentów Politechniki Poznańskiej –semestr zimowy); 2007.

6.21. **Praktyka studencka**, Politechnika Poznańska Wydział Fizyki Technicznej – 160h, 2007.

6.22. **Praktyka studencka**, Politechnika Poznańska Wydział Fizyki Technicznej – 60h (1 os), 80 h (3os.), 2006.

6.23. **Opiekun pracy magisterskiej** - M. Skrzycki (Wydział Fizyki Technicznej, Politechnika Poznańska), 2005.

6.24. **Praktyka studencka**, Politechnika Poznańska Wydział Fizyki Technicznej – 160 h, 2004.

## **DZIAŁALNOŚĆ ORGANIZATORSKA:**

6.25. Współorganizacja „Nocy Naukowców 2023” w Poznaniu. Koordynacja i organizacja „Night4Future” w IFM PAN w ramach współpracy z konsorcjum, którego koordynatorem jest PP a zrzesza najważniejsze Uczelnie i Instytuty naukowe z Poznania w ramach projektu Unii Europejskiej NIGHT4FUTURE ”The future of the Earth is possible thanks to constant cooperation of scientists from different fields”. Projekt w ramach programu ramowego Unii Europejskiej HORIZON-MSCA-2022-CITIZENS-01 (Type of Action: HORIZON-CSA) Instytut Fizyki Molekularnej Polskiej Akademii Nauk w partnerstwie z: PP, UAM, UP, IChB PAN, PCSS, AWF, UE, IGCz PAN.

6.26. XV Interdyscyplinarna Konferencja Naukowa TYGIEL 2023 „Interdyscyplinarność kluczem do rozwoju”, Lublin/online, patronat honorowy IFM PAN, prowadzenie sesji, członek komitetu naukowego;

6.27. Współorganizacja Poznańskiego Festiwalu Nauki i Sztuki 2023, IFM PAN prezentowało dwa wydarzenia: ”W LABIRYNCIE FIZYKI” - labirynt z doświadczeniami fizycznymi oraz ”AZOTOWE SZALEŃSTWO” warsztaty, pokaz. limit wieku: b/o; limit miejsc: 100; czas: 9:30-14:00. Organizator: Polska Akademia Nauk, koordynator IFM PAN;

6.28. VII Ogólnopolska Konferencja Naukowa „Nanotechnologia wobec oczekiwań XXI w.”, Lublin/online, 2023, patronat honorowy IFM PAN, członek komitetu organizacyjnego, członek komitetu naukowego;

6.29. VII Ogólnopolska Konferencja Naukowa „Biopolimery – źródło nowych materiałów”, Lublin/online, patronat honorowy IFM PAN, członek komitetu organizacyjnego;

6.30. III Ogólnopolska Konferencja Naukowa „Rozwiązania i technologie XXI wieku”, Lublin/online, 2023, patronat honorowy IFM PAN, członek komitetu organizacyjnego;

6.31. Poznański Festiwal Nauki i Sztuki 2022, "Azotowe szaleństwo" - warsztaty, limit wieku: b/o; limit miejsc: 100; czas: 9:30-14:00. Organizator: Polska Akademia Nauk, koordynator IFM PAN;

6.32. Współorganizacja „Nocy Naukowców 2022” w Poznaniu. Koordynacja i organizacja „Night4Future” w IFM PAN w ramach współpracy z konsorcjum, którego koordynatorem jest PP a zrzesza najważniejsze Uczelnie i Instytuty naukowe z Poznania w ramach projektu Unii Europejskiej NIGHT4FUTURE "The future of the Earth is possible thanks to constant cooperation of scientists from different fields". Projekt w ramach programu ramowego Unii Europejskiej HORIZON-MSCA-2022-CITIZENS-01 (Type of Action: HORIZON-CSA) Instytut Fizyki Molekularnej Polskiej Akademii Nauk w partnerstwie z: PP, UAM, UP, IChB PAN, PCSS, AWF, UE, IGCz PAN.

6.33. XIV Interdyscyplinarna Konferencja Naukowa TYGIEL 2022 „Interdyscyplinarność kluczem do rozwoju”, Lublin/online, 2022, Fundacja na rzecz promocji nauki i rozwoju TYGIEL, patronat honorowy IFM PAN, prowadzenie sesji, członek komitetu naukowego;

6.34. IV Ogólnopolska konferencja naukowa "Nanotechnologia wobec oczekiwań XXI w." Lublin/online, 2022, Fundacja na rzecz promocji nauki i rozwoju TYGIEL, patronat honorowy IFM PAN, członek komitetu organizacyjnego;

6.35. VI Ogólnopolska Konferencja Naukowa „Biopolimery – źródło nowych materiałów” Lublin/online, 2022, Fundacja na rzecz promocji nauki i rozwoju TYGIEL, patronat honorowy IFM PAN, członek komitetu naukowego;

6.36. III Ogólnopolska Konferencja Naukowa „OZE – Energia przyszłości”, Lublin/online, 2022, Fundacja na rzecz promocji nauki i rozwoju TYGIEL, patronat honorowy IFM PAN, prowadzenie sesji, członek komitetu naukowego;

6.37. IV Ogólnopolskiej Przyrodniczej Konferencji Naukowej „Mater naturae” – osiągnięcia, wyzwania i problemy nauk przyrodniczych, Lublin/online, 2022, Fundacja na rzecz promocji nauki i rozwoju TYGIEL, patronat honorowy IFM PAN, członek komitetu organizacyjnego;

6.38. II Ogólnopolska Konferencja Naukowa „Rozwiązania i technologie XXI wieku” Lublin/online, 2022, członek komitetu organizacyjnego;

6.39. Współorganizacja „Nocy Naukowców 2020” w Poznaniu. Koordynacja i organizacja „SOS Night” w IFM PAN w ramach współpracy z konsorcjum, którego koordynatorem jest PP a zrzesza najważniejsze Uczelnie i Instytuty naukowe z Poznania w ramach projektu Unii Europejskiej SOSNIGHT "In science we trust - scientists sound the alarm and show how to save the Earth!" 01-06-2021- 31-03-2022, w ramach programu ramowego Unii Europejskiej HORIZON2020 Instytut Fizyki Molekularnej Polskiej Akademii Nauk w partnerstwie z: PP, UAM, UP, IChB PAN, PCSS, AWF, UE, IGCz PAN.

6.40. V Ogólnopolska Konferencja Naukowa Nanotechnologia wobec oczekiwań XXIw., Lublin, Polska, 2021, Fundacja na rzecz promocji nauki i rozwoju TYGIEL; patronat honorowy IFM PAN, prowadzenie sesji, członek komitetu naukowego;

6.41. II Ogólnopolska Konferencja Naukowa „Kierunek NANO – badania i osiągnięcia z obszaru nanotechnologii”, Lublin, Polska 2021, Fundacja na rzecz promocji nauki i rozwoju



TYGIEL, patronat honorowy IFM PAN, członek komitetu naukowego;

6.42. III Ogólnopolska Przyrodnicza Konferencja Naukowa „Mater naturae” – osiągnięcia, wyzwania i problemy nauk przyrodniczych, Lublin, Polska, 2021, patronat honorowy IFM PAN, członek komitetu naukowego;

6.43. Współorganizacja „Nocy Naukowców 2020” w Poznaniu. Koordynacja i organizacja „Nocy dla Ziemi” w IFM PAN w ramach współpracy z konsorcjum, którego koordynatorem jest PP a zrzesza najważniejsze Uczelnie i Instytuty naukowe z Poznania, w ramach projektu Unii Europejskiej H2020-MSCA-NIGHT-2020, HORIZON2020- Program ramowy w zakresie badań i innowacji, 2020;

6.44. Organizacja wydarzenia „W labiryncie fizyki” jako imprezy towarzyszącej „Nocy Naukowców”, prezentacja stanowiska „Świat miękkiej materii i ciekłych kryształów”, koordynacja działań z Politechniką Poznańską, organizacja stanowiska i warsztatów SmartBee, 2019

6.45. Współorganizacja wydarzenia „Black Friday” we współpracy Smart Bee Club oraz IFM PAN – pokazy oraz promocja Instytutu, 2019

6.46. Inicjatywa zorganizowania „Nocy Naukowców” w naszym instytucie; nawiązanie współpracy i koordynacja działań z Politechniką Poznańską; opracowanie koncepcji oraz planu wydarzenia „W labiryncie fizyki” na terenie naszego Instytutu, przygotowanie „Nocy Naukowców” w IFM PAN, prezentacja laboratorium Fizyki Miękkiej Materii i Ciekłych Kryształów, 2018;

6.47. Organizacja i prowadzenie warsztatów naukowych p.t. „Niezwyczajny Świat Ciekłych Kryształów” dla wybitnie uzdolnionych uczniów Gimnazjum nr1 w Luboniu, 2010

6.48. Współorganizacja konferencji „23rd International Liquid Crystal Conference (ILCC 2010)”, Kraków, Poland, 2009; członek Komitetu Organizacyjnego

6.49. Organizacja konferencji: „School of Chiral Liquid Crystals” w ramach Centrum Doskonałości Magnetycznych i Molekularnych Materiałów Dla Elektroniki Przyszłości, Będlewo (maj 2005); sekretarz i koordynator konferencji.

## **DZIAŁALNOŚĆ POPULARYZATORSKA:**

6.50. Baranówko, Fundacja Stworzenia Pana Smolenia, Piknik „Powitanie lata”, warsztaty i pokaz naukowy pt: ”Pary, chmury i wulkany - czarodziejska fizyka” dla podopiecznych i ich opiekunów z Ośrodka Hipoterapeutycznego w Baranówku. Liczba uczestników: ok. 40 osób, 2023;

6.51. ”W labiryncie Fizyki” Wizyta uczniów Zespołu Szkół Społecznych nr 1 im. św. Urszuli Ledóchowskiej w Poznaniu , Społecznego Towarzystwa Oświatowego, 4 klasy (ponad 60 uczniów) - Dni z Nauką -eksperymenty do samodzielnego wykonania oraz zwiedzanie laboratoriów. Pre-event Nocy Naukowców zrealizowany razem z Fizyką Wartą Poznania (IFM PAN), 2023;

6.52. Przedszkole Niepubliczne "Ochronka" im. Edmunda Bojanowskiego, Luboń, Warsz-taty naukowe pt.: "Ruchome Piaski" dla dzieci 6 letnich, klasa "0" – Naukowcy w Szkołach (Project 101061250 Night4Future- HORIZON-MSCA-2022-CITIZENS-01-01). Przeprowadze-nie 4 eksperymentów: lepienie babek z piasku - jak to możliwe?; piasek hydrofobowy a kwiat lotosu; czy to ciecz czy ciało stałe? - ciecz nieniu-tonowska; śnieg latem? - własności poliakry-nianu sodu, 2022;

6.53. Pokaz/warsztaty p.t.: "Niezwyczajny świat niskich temperatur i ciekłych kryształów". Szkoła Podstawowa im. Mikołaja Kopernika w Wyszynach; w Dzień Patrona szkoły uczniowie (klasy 1-8 SP) 20 maja 2022 r. uczestniczyli w pokazie, na którym mogli zobaczyć ciekły azot, wpływ jego niskiej temperatury na ciśnienie powietrza oraz zaobserwować reakcje, jakie zachodziły przy mieszaniu się ciekłego azotu z ciekłymi kryształami, 2022;

6.54. Warsztaty naukowe popularyzujące naukę pt.: "Azotowe szaleństwo- niezwykły świat ciekłych kryształów i niskich temperatur" przeprowadzone 22 sierpnia 2022 r. dla dzieci, mło-dzieży i opiekunów z Ukrainy przebywających w Zgromadzeniu Sióstr Służebniczek w Luboniu. Pre-event w ramach Projektu 101061250 Night4Future- HORIZON-MSCA-2022-CITIZENS-01-01. 2022;

6.55. Warsztaty naukowe SmartBee Camp on-line "Zobacz ciepło-ciekłe kryształy" (pre-event NN2021), online 2021;

6.56. Warsztaty naukowe dla dzieci 7-8 letnich pt. "Fascynujący świat ciekłych kryształów i niskich temperatur" (pre-event NN2021). Szkoła Podstawowa nr 1 w Komornikach, 2021;

6.57. Warsztaty dla dzieci 5-7 letnich "Zabawa kolorami i teksturami - malowanie na mleku, jak powstaje tęcza, śniegologia" (pre-event NN2021), Rokietnica, 2021;

6.58. Warsztaty naukowe dla dzieci 5-10 letnich "Cudowny świat kolorów i ciekłych kryształów" podczas animacji parafialnych detektywistyczno biblijnych "Śladami cudów Jezusa", Parafia św. Jana XXIII w Wirach, 2021;

6.59. Warsztaty naukowe dla dzieci 5-10 letnich "Magiczne chmury, burze i wulkany" pod-czas animacji parafialnych detektywistyczno-biblijnych "Śladami cudów Jezusa". Parafia św. Jana XXIII w Wirach, 2021;

6.60. Warsztaty naukowe dla klas "0" (dzieci 6 letnie) 2x "Tajemniczy świat niskich tem-peratur", Przedszkole Niepubliczne "Ochronka", Luboń, 2021;

6.61. Prezentacja online "Mikroświat ciekłych kryształów w okularze mikroskopu" (Te-tiana Yevchenko, Sławomir Pieprzyk, Dorota Dardas) Noc Naukowców w ramach H2020bis "SOSNIGHT", 2021;

6.62. Warsztaty naukowe dla klasy 1 SP "Magia barw, magia temperatur", Poznań, SP3, oś. Piastowskie 27,mŚwiatowy Dzień Nauki dla Pokoju i Rozwoju (10.11), 2021;

6.63. Poznań Poznański Festiwal Nauki i Sztuki: "Dlaczego ciekłe kryształy są fascynują-ce?" - prezentacja online, 2021;

6.64. Przygotowanie prezentacji "Co łączy bańki mydlane z sondą kosmiczną" - online, grudzień 2020 (Dorota Dardas, Tetiana Yevchenko, Sławomir Pieprzyk), XXIII Poznański Festiwal Nauki i Sztuki, 2020;

6.65. Przygotowanie filmu/prezentacji na Noc Naukowców 2020 pt. „Co łączy bańki mydlane z sondą kosmiczną?” (Dorota Dardas, Tetiana Yevchenko, Sławomir Pieprzyk), 2020;

6.66. Warsztaty online, 1h, W ramach SmartSummerCamp dla dzieci, Tytuł: „Genetyka. Izolacja DNA z truskawki”, pre-event NN2020, 2020;

6.67. Gimnazjum nr 1, im. Kardynała Stefana Wyszyńskiego, ul. Amii Poznań 27 w Luboniu, seminarium i warsztaty dla klas trzecich p.t. „Ciekłe kryształy w technice i medycynie”, 04.09.2015 (1 godz. seminarium, 1 godz. warsztaty), Luboń, 2015;

6.68. Projekt „AS KOMPETENCJI” Uczelniany Festiwal UGP, wykład p.t. ”Ciekłe kryształy od Reinitzera do sondy kosmicznej”, Poznań, 2011;

6.69. Projekt „Z FIZYKĄ, MATEMATYKĄ I PRZEDSIĘBIORCZOŚCIĄ ZDOBYWAMY ŚWIAT!!!” Uczelniany Festiwal UGP, wykład p.t. „ Fascynujący świat ciekłych kryształów” „, Poznań, 2011;

6.70. Wykład na Politechnice Poznańskiej dla uczniów Szkół Podstawowych i Gimnazjalnych z serii „Piękno Fizyki” p.t. Niezwykły świat ciekłych kryształów”, 2010;

6.71. Prezentacje Laboratorium Oddziaływań Molekularnych z okazji „Dni Otwartych” oraz wizyt uczniów szkół podstawowych, gimnazjów i szkół średnich, 2009;

6.72. Prezentacje Laboratorium Oddziaływań Molekularnych z okazji „Dni Otwartych” oraz wizyt uczniów szkół podstawowych, gimnazjów i szkół średnich, 2008;

6.73. Wykład prośbony w Gimnazjum nr 2 w Luboniu z okazji „Dni z fizyką” p.t. „Ciekłe kryształy – niezwykły stan materii”, 2008;

6.74. Prezentacje Laboratorium Oddziaływań Molekularnych z okazji Jubileuszów 20-to, 25, 30 i 35-ciolecia Instytutu.

## **INNA DZIAŁALNOŚĆ W DZIEDZINIE FIZYKI:**

- Kierownik produkcji filmu promującego wydarzenie „Night for Earth” towarzyszące ogólnoeuropejskiej akcji popularyzującej naukę wśród społeczeństwa Reasercher’s Night, 2020

- Kierownik produkcji filmu promującego wydarzenie „W labiryncie Fizyki” towarzyszące ogólnoeuropejskiej akcji popularyzującej naukę wśród społeczeństwa Reasercher’s Night, 2019

## **INNA DZIAŁALNOŚĆ**

- Recenzja prototypu KPS Covid-19 (Kwestionariusz Psychologicznych Skutków COVID-19, wersja dla opiekunów osób z niepełnosprawnością intelektualną. Projekt realizowany jako usługa opracowania i przetestowania innowacji społecznych w obszarze minimalizowania skutków Covid-19 dla osób zagrożonych wykluczeniem społecznym z terenu województwa wielkopolskiego dla Województwa Wielkopolskiego - Regionalnego Ośrodka Polityki Społecznej w

Poznaniu (2021)

- Aktywny udział w działalności Fundacji „FIONA”. Działania w kierunku adekwatnego podejścia do możliwości wdrożenia wspieranego podejmowanego decyzji w alternatywie do ubezwłasnowolnienia całkowitego. Wspieranie projektu Innowacji Społecznych Generator Dostępności, realizowanym przez Stowarzyszenie Na Rzecz Spółdzielni Socjalnych w partnerstwie z Regionalnym Ośrodkiem Polityki Społecznej w Poznaniu (2021)

- Recenzja powieści Science Fiction pt. „Niebo” autorstwa K. Hyżorka (2020)

- Diagnostyka dzieci (diagnoza funkcjonalna, obserwacja, zgodnie z programem INPP dla szkół opartym na programie klinicznym Instytutu Psychologii Neurofizjologicznej) na podstawie testów przesiewowych INPP, sprawdzających obecność odruchów pierwotnych, których występowanie na kluczowych etapach rozwoju stanowi uznany wskaźnik dojrzałości ośrodkowego układu nerwowego (2016-2021)

- Udział w konsultacjach społecznych przy Regionalnym Ośrodku Polityki Społecznej w Poznaniu nad przygotowaniem modelu standardu mieszkalnictwa wspieranego dla osób z całościowymi zaburzeniami rozwoju, w tym z autyzmem i zespołem Aspergera „AZYMUT – SAMODZIELNOŚĆ” (2018).

7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.

#### TWORZENIE WARSZTATU PRACY W IFM PAN:

1) Opracowanie metody pomiaru i wyznaczenie natężenia światła padającego i przesunięcia fazowego między promieniem zwyczajnym i nadzwyczajnym; 2) Zaproponowanie metody kalibracji odpowiedzi elektrooptycznej; 3) Wykonanie i przetestowanie układu do wyznaczania współczynnika kalibracji; 4) Zaobserwowanie temperaturowej zależności współczynnika kalibracji; 5) Zaproponowanie metody ilościowego opisu zjawisk elektrooptycznych; 6) Zmodernizowanie stanowisko do pomiaru efektów elektrooptycznych; 7) Zbadanie elektrooptycznych własności antyferroelektrycznych ciekłych kryształów z uwzględnieniem możliwości wykorzystania w/w materiałów do produkcji wyświetlaczy ciekłokrystalicznych; 8) Zaproponowanie sposobu i wykonanie separacji pierwszej i drugiej harmonicznej odpowiedzi elektrooptycznej; 9) Opracowanie metody wyznaczania bezwzględnych wartości współczynnika sprężystości i lepkości w chiralnych smektykach – szczególne znaczenie ma możliwość wyznaczania współczynnika sprężystości w antyferroelektrycznych ciekłych kryształach metodami elektrooptycznymi w słabym polu elektrycznym; Ustawienie, reorganizacja, modyfikacja laboratorium anizotropii optycznej; 10) Uruchomienie Laboratorium Anizotropii Optycznej. Pomiar zależności temperaturowych anizotropii optycznej metodą fotoelastycznej modulacji światła (PEM) w ciekłych kryształach nematycznych- wzorzec, sprawdzenie skuteczności metody, pomiary w fotoaktywnych ciekłokrystalicznych materiałach azowych przestrajanych światłem; 11) Pomiary dwójłomności optycznej w smektycznych, antyferroelektrycznych ciekłych kryształach, po raz pierwszy metodą PEM - niedostępne innymi standardowymi metodami.

## NAGRODY I WYRÓŻNIENIA

1. Nominacja do Nagrody Polskiego Towarzystwa Fizycznego za wkład w popularyzację nauki przez Poznański Oddział PTF, 2023
2. Nagroda Dyrektora Instytutu Fizyki Molekularnej PAN za wyróżniającą się w 2006 roku rozprawę doktorską, 2007
3. Wyróżnienie Rozprawy Doktorskiej, Rada Naukowa Instytutu Fizyki Molekularnej Polskiej Akademii Nauk, 2006
4. Stypendium Konferencyjne dla Młodych Naukowców, Towarzystwo Naukowe Warszawskie i Fundacja na Rzecz Nauki Polskiej, 2003



PODPIS ZAUFANY

DOROTA MIROSŁAWA  
**DARDAS**

28.09.2023 13:10:34 [GMT+2]

Dokument podpisany elektronicznie  
podpisem zaufanym

.....