

**Opinia dot. rozprawy doktorskiej Zinoviya Kohuta (Zenona Koguta) pt. *Електронна поляризованість одновісно навантажених кристалів  $K_2ZnCl_4$  з несумірною фазою***  
*(Polaryzowalność elektronowa jednoosiowo obciążonych kryształów  $K_2ZnCl_4$  o fазі niewspółmiernej)*

nostryfikacja dyplomu doktorskiego na AGH w Krakowie

Dr Zinoviya Kohut od 2020r. jest zatrudniony na stanowisku asystenta w Instytucie Elektroenergetyki Wydziału Elektrycznego Politechniki Częstochowskiej. Stopień tzw. kandydata nauk fizycznych i matematycznych w dziedzinie fizyka (odpowiadający stopniowi naukowemu doktora nauk fizycznych w Polsce) uzyskał na Uniwersytecie Narodowym im. Iwana Franko we Lwowie (Politechnika Lwowska) w 2012r., broniąc pracy doktorskiej pod kierunkiem prof. Wasyla J. Stadnyka w Katedrze Fizyki Ciała Stałego Wydziału Fizyki, która jest wiodącym ukraińskim zespołem w dziedzinie badań własności fizycznych półprzewodników i dielektryków.

Tematyka rozprawy doktorskiej dotyczy badań doświadczalnych i teoretycznych własności optycznych kryształów poddawanych odkształceniom mechanicznym i charakteryzujących się anomalnymi zachowaniami współczynników załamania w funkcji temperatury oraz ciśnienia.

Warto zważyć, że kariera naukowa dr Z. Kohuta odbiega od typowego schematu uzyskiwania kolejnych stopni naukowych i tytułów, z uwagi na 10 letnią przerwę pomiędzy ukończeniem studiów doktoranckich (1998-2001), a złożeniem rozprawy doktorskiej (listopad 2011). W międzyczasie pracował on jako nauczyciel fizyki w Gimnazjum Akademickim we Lwowie (2001-2007), następnie jako asystent naukowo-dydaktyczny (2007-2011), a po doktoracie jako starszy wykładowca (2011-2019) na Politechnice Lwowskiej. Prowadził zajęcia (wykłady, ćwiczenia i laboratoria) z zakresu nie tylko fizyki stosowanej, ale również ciepłownictwa, inżynierii materiałowej i elektrotechniki. Zainteresowania zagadnieniami energetycznymi oraz systemami konwersji energii miały przełożenie praktyczne, gdyż w latach 2012-2019 Z. Kohut był projektantem i kierownikiem zespołów instalacji sieci elektrycznych i systemów fotowoltaicznych.

Praca doktorska liczy 198 stron i składa się z 5 rozdziałów. Rozdział 1 jest obszernym wstępem przybliżającym podstawowe definicje współczynników optycznych kryształów wraz z nawiązaniem do ich opisu klasycznego (w oparciu o równania Maxwella) oraz opisu kwantowego w oparciu o cechy struktury elektronowej oraz model tzw. oscylatorów układów ferroelektrycznych i ferroelastycznych. Ponadto autor przybliży czytelnikowi zagadnienie kryształów o współmiernie i niewspółmiernie modulowanej strukturze oraz możliwe implikacje dla przejść fazowych w oparciu o teorię Lifshitz'a. Jest to o tyle interesujące, że multiferroik o strukturze niewspółmiernej można uznać jako stan pomiędzy uporządkowaną strukturą krystaliczną a fazą nieuporządkowaną z punktu widzenia symetrii translacyjnej. Poznanie wpływu tego typu zachowań strukturalnych na własności optyczne na podstawie badań związku  $K_2ZnCl_4$  stało się główną tezą rozprawy Z. Kohuta. Pozostała część rozdziału 1 poświęcona jest omówieniu pozycji literaturowych związanych z dotychczasowymi wynikami uzyskanymi dla kryształów dielektrycznych (w szczególności  $K_2ZnCl_4$ ) o nieliniowych charakterystykach, wykorzystywanych jako elementy optyczne do zapisu, odtwarzania i przetwarzania informacji, mierniki pola czy też generatory ultradźwięków.

Rozdział 2 prezentuje metodologię badań układu  $K_2ZnCl_4$  zawierających między innymi:

- a) opis hodowania i orientowania monokryształów ferroelektrycznych,
- b) omówienie technik pomiaru zależności temperaturowych i dyspersyjnych współczynników załamania oraz określania zmian dwójłomności kryształu w oparciu o tzw. metodę obrazowania interferencyjnego Obreimowa,
- c) przedstawienie aparatury zastosowanej do pomiaru wpływu ciśnienia (obciążenia mechanicznego) na dwójłomność optyczną badanych próbek w postaci skonstruowanej przystawki umożliwiającej ścisnąć kryształ, kontrolowane poprzez zmianę obrazu interferencyjnego,
- d) metody wyznaczania parametrów piezo-optycznych w oparciu o tzw. technikę napięć półfalowych, wynikającą z różnicy funkcji natężenia światła dla sąsiednich ekstremów związanych z wpływem obciążeń mechanicznych.

Rozdział 3 przedstawia wyniki pomiarów wpływu ciśnienia jednoosiowego (uzyskanego poprzez przyłożenie naprężenia wzdłuż wybranego kierunku kryształu) na temperaturowe i dyspersyjne własności dwójłomności dla próbek  $K_2ZnCl_4$ , celem zaobserwowania zmian zachowań optycznych w pobliżu przejść fazowych (z fazy paraelektrycznej do fazy niewspółmiernej oraz z fazy niewspółmiernej do fazy ferroelektrycznej). Efekt piezo-optyczny powiązany ze zmianą stałych polaryzacji (stałej dielektrycznej i zespolonego współczynnika załamania) indukowaną naprężeniem, był podstawą określenia tensorów 4-rzędu piezo-optycznego oraz sprężysto-optycznego. Taki zabieg analityczny pozwolił na rozdzielenie wkładu pochodzącego od spontanicznej polaryzacji (efekt elektro-optyczny) od wkładu związanego ze spontaniczną deformacją (efekt sprężysto-optyczny). Wskazano też parametry porządku odpowiedzialne za zmiany własności optycznych kryształu przy przejściu od fazy niewspółmiernej do współmiernej.

Rozdział 4 omawia wyniki badań współczynników załamania dla kryształu  $K_2ZnCl_4$ , poddawanego odkształceniom mechanicznym. Stwierdzono m.in. na podstawie obliczenia parametrów oscylatorów w zakresie długości fal UV i IR, że tego typu odkształcenia kierunkowe prowadzą do zmniejszenia siły oscylatora UV i wzrostu oscylatora IR, jak również przesuwają środek widma absorpcji w kierunku fal długich. Uzyskano bardzo interesujące charakterystyki czasowe przy badaniach współczynników załamania w fazie niewspółmiernej. Pokazano, że anizotropia polaryzacji elektronowej dla wzajemnie prostopadłych kierunków krystalicznych w  $K_2ZnCl_4$  odpowiada anizotropii współczynników załamania. Zauważono również, że naprężenia jednoosiowe zwiększają polaryzowalność elektronową, co dość dobrze odpowiada zmianom objętości, jak też liniowym wymiarom badanych próbek wzdłuż kierunku ściskania.

Rozdział 5 jest analizą diagramów fazowych na podstawie wyników uzyskanych w poprzednich dwóch rozdziałach (badania dwójłomności oraz współczynników optycznych pod wpływem naprężeń i zmian temperatur), jak też wyniki obliczeń struktury elektronowej  $K_2ZnCl_4$  metodą pseudopotencjałów programem VASP. Na podstawie obliczeń DFT udało się uzyskać jedno z najbardziej interesujących wyników zmian kierunkowych stałych dielektrycznych pod wpływem przyłożonego ciśnienia, co było podstawą interpretacji rezultatów eksperymentalnych.

W podsumowaniu stwierdzam, że podjęta tematyka badań własności optycznych ferroicznego kryształu  $K_2ZnCl_4$  w aspekcie zmian porządku strukturalnego, szczegółowe wyniki uzyskane dla ewolucji własności optycznych (dwójłomności oraz współczynnika załamania) pod wpływem przyłożonego naprężenia w szerokim zakresie temperatur, jak też interpretacja tych zachowań w świetle teorii fenomenologicznej Ginzburga-Landaua oraz zaawansowanych obliczeń struktury elektronowej i stałych dielektrycznych metodami DFT, w pełni pozwalają na uznanie rozprawy doktorskiej Z. Kohuta jako odpowiadającej wymogom formalnym oraz zwyczajowym stawianym tego typu pracom doktorskim w Polsce.

Wyniki uzyskane i dyskutowane w dysertacji dr Z. Kohuta stanowiły ponadto podstawę publikacji (lata 2010-2011) w czasopismach o zasięgu międzynarodowym takich jak *Materials Chemistry and Physics*, *Journal of Applied Spectroscopy*, *Optics and Spectroscopy*, *Acta Physica Polonica A*, *Ukrainian Journal of Physics* (choć należy zwrócić uwagę, że w żadnej z nich Z. Kohut nie był pierwszym autorem). Uzasadnioną krytykę wzbudza niski poziom tłumaczenia na j. polski rozprawy doktorskiej *Електронна поляризованість одновісно навантажених кристалів  $K_2ZnCl_4$  з несутірною фазою*, choć moim zdaniem nie powinno mieć to wpływu na ocenę zawartości merytorycznej oryginalnej pracy doktorskiej.

Zwracam się do Rady Dyscypliny Nauk Fizycznych AGH w Krakowie o nostryfikowanie Z. Kohutowi stopnia doktora nauk fizycznych na podstawie przedstawionej dokumentacji.

Prof. dr hab. inż. Janusz Tobała

Kraków, 18.01.2022r.