



Prof. dr hab. Piotr Zieliński
(+48 12) 662 8204,
Piotr.Zielinski@ifj.edu.pl

Kraków, 17 kwietnia 2023 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej p. mgr. Dmytro Nosova nt. „Właściwości materiałów kompozytowych: zagadnienia pęknięcia w magnetoelektroprężystości”

Przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska p. mgr. Dmytro Nosova podejmuje problematykę materiałów wykazujących w pewnych warunkach polaryzację elektryczną, namagnesowanie i odkształcenie. Gdy te własności występują spontanicznie, tj. bez udziału sił sprzężonych z wymienionymi wielkościami, tj. pól elektrycznych, magnetycznych i naprężeń, a jedynie pod wpływem czynników nie łamiących symetrii obrotowej, czyli np. temperatury ciśnienia, składu chemicznego itp. mówimy o multiferroikach. Multiferroiczność jest często wynikiem specyficznej budowy chemicznej cząsteczek i/lub jonów molekularnych tworzących materiał. Znaczenie poznawcze takich układów polega na możliwości badania skomplikowanych oddziaływań prowadzących do nietypowych zmian symetrii w klasyfikacji ferroicznych przejść fazowych wg Aizu. Multiferroiki znajdują też zastosowanie jako elementy sensorów różnych pól i zakłóceń zarówno w produkcji przemysłowej, jak i w wyspecjalizowanych pracach naukowych m.in. kosmologicznych. W rozprawie mgr. D. Nosova multiferroiczność osiąga się poprzez łączenie w jednej próbce obszarów różnych materiałów, o rozmiarach od nanometrycznych do mikronowych, tj. obejmujących znaczną liczbę komórek elementarnych. Zatem zamiast skomplikowanego związku chemicznego mamy tu do czynienia z kompozytem. Temat pracy jest więc bardzo aktualny zarówno z punktu widzenia badań podstawowych, jak i zastosowań.

Szczegółowym zagadnieniem rozpatrywanym w rozprawie jest obecność w próbce kompozytowej defektów w postaci pęknięć. Ich obecności można się spodziewać w próbkach narażonych na naprężenia przekraczające lokalną wytrzymałość materiału, a także po dłuższym czasie od sporządzenia próbki w wyniku efektów starzenia. Odpowiedź tak zdefektowanych materiałów na zaburzenia zewnętrzne jest tym bardziej trudna do modelowania im tych defektów jest więcej.



Rozprawa doktorska skupia się więc na teoretycznych badaniach pól fizycznych materiałów kompozytowych w celu uzyskania przewidywań wielkości i przestrzennego rozkładu odkształceń, namagnesowania i polaryzacji elektrycznej, a także przewodności elektrycznej w skali mezoskopowej z uwzględnieniem wielkości wtrąceń. Najbardziej znaczący wkład Autora do rozwoju metod pozwalających takie przewidywania przeprowadzić dotyczy modeli dwuwymiarowych, gdzie przestrzeń zajmowaną przez materiał można przedstawić na płaszczyźnie zespolonej. Użyteczne też okazują się być potencjały zespolone, dobrane tak, że interesujące nas pola uzyskuje się poprzez odpowiednie różniczkowanie pojedyncze lub podwójne, zob. wzory (4.7 – 4.10) str. 45 rozprawy. Układ równań różniczkowych pozwalający otrzymać wartości tych potencjałów w stanie równowagi przedstawiony jest na str. 46. Odpowiednie podstawienie (r. (4.12) i (4.16)) pozwala sprowadzić ten układ równań różniczkowych do układu równań algebraicznych przypominających zagadnienie własne, w którym liczba wartości własnych wynosi 8. W podrozdziale 4.4 znajdujemy odpowiednie warunki brzegowe. W szczególności w równaniach (4.36) i (4.37) warunki brzegowe są wyrażone poprzez potencjały zespolone. Prowadzi to do równań całkowych ((4.41), (4.42)) z wyrazem przypominającym transformatę Hilberta wziętą po brzegu pęknięcia Γ . Asymptotyczne zachowanie potencjałów zespolonych przedstawione jest w podrozdziale 4.5. Metody te pozwalają wyznaczyć rozkłady naprężeń, namagnesowania i polaryzacji materiału o zadanych wartościach stałych sprężystych (modułach sprężystości), podatności elektrycznej i magnetycznej oraz określonych warunkach brzegowych w obecności pęknięć zadanych w postaci konturów o dwóch punktach osobliwych. Przejście od funkcji zespolonych potencjałów do reprezentacji macierzowej, niezwykle pomocne w algorytmizacji zagadnienia umożliwiającej implementację komputerową, jest omówione w rozdziale 5. Rozdział 6 jest poświęcony oszacowaniu metodą Schwarza przewodności w kompozycie z uwzględnieniem przewodności wtrąceń. Z kontekstu wynika, że przewodność matrycy, tj. drugiego względem wtrąceń składnika kompozytu wynosi 1, o czym świadczy definicja parametru kontrastu w równaniu (6.3). Autor podaje przepis na przybliżenie analityczne rozkładu przewodności, a potem uogólnia metodę Schwarza na układy dwuwymiarowe.



Wyniki przykładowych obliczeń podano w rozdziale 7. Stałe materiałowe odpowiadają kompozytowi selenku kadmu i tytanianu baru. Nieco dyskusyjne jest zastosowanie stałych materiałowych z objętościowych krystalitów selenku kadmu i tytanianu baru do zagadnienia dwuwymiarowego. Wydaje się zatem, że wyniki dotyczą grubej warstwy kompozytu, z tym że obliczenia nie uwzględniają zmian wyznaczanych wielkości w kierunku prostopadłym do płaszczyzny warstwy. Założono dwa pęknięcia prostoliniowe, które mogą tworzyć ze sobą dowolne kąty, rys. 21 – 23. W rozumieniu recenzenta takie pęknięcia są cylindrami o podstawach przedstawionych na rysunkach rozciągającymi się w kierunku prostopadłym do płaszczyzny. Mapy pól indukcji elektrycznej przedstawiono na rys. 24 i 25. Innym rodzajem wyniku jest ilustracja przewodności, choć nie widać tam szczelin pęknięć.

Rozprawa spełnia wymogi stawiane takim rozprawom przez ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, Dz. U. z 2016 r. poz. 882. Stanowi bowiem

1) “oryginalne rozwiązanie problemu naukowego lub oryginalne rozwiązanie problemu w oparciu o opracowanie projektowe, konstrukcyjne, technologiczne, lub oryginalne dokonanie artystyczne”

oraz

2) “wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie naukowej lub artystycznej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej.”

Ad. 1.

Opracowana została nowa metoda potencjałów zespolonych wspólnie z Prof. Leonidem Filshhtinskim. Prof. Filshhtinski rozszerzył i zmodyfikował klasyczną metodę S.G. Lechnickiego potencjałów zespolonych różnych zmiennych powstających z równania charakterystycznego dla zagadnień sprężystych. Mgr Dmytro Nosov poprawił metodę optymalizacją wybranych potencjałów zespolonych. Oprócz równań całkowych powstają dodatkowe macierzowe równości bilansu osobliwości. Dmytro Nosov opisał równanie całkowe i dodatkowe liczbowe równości w postaci macierzowej. Wyniki tych prac zostały opublikowane w recenzowanych czasopismach naukowych o zasięgu międzynarodowym:



- V. Mityushev, W. Nawalaniec, D. Nosov, E. Pesetskaya,

Schwarz's alternating method in a matrix form and its applications to composites, Applied Mathematics and Computation Volume 356, 144, (2019) ,

- Dmytro Nosov, Leonid Filshinsky, and Vladimir Mityushev, *Cracks in two-dimensional magneto-electro-elastic medium* rozdział w monografii *Mechanics and Physics of Structured Media*, Elsevier, 2022, Pages 41-61.

Z referatu wygłoszonego przez Doktoranta na seminarium Oddziału Fizyki Materii Skondensowanej IFJ PAN wynika, że algorytmiczna i komputerowa implementacja równań całkowych z dodatkowymi macierzowymi równościami jest oryginalnym wkładem mgr. D. Nosova. Na przykładach pokazano zachowanie pól skomplikowanych struktur ze szczelinami. Największą wartość rozprawy jest konstruktywnie opisana metoda rozwiązywania zagadnień dla materiałów magneto-electro-sprężystych, co pozwala na symulacje skomplikowanych pól fizycznych.

Ad. 2.

Dyskusja na wymienionym seminarium oraz wstępne rozdziały 1,2 i 3 rozprawy świadczą o opanowaniu przez Doktoranta szerokiego zakresu wiedzy z dziedziny mechaniki ośrodków ciągłych, zaawansowanych metod matematycznych ich opisu oraz konstruowania algorytmów symulacyjnych. Szczegóły tych zagadnień można znaleźć w Dodatkach rozprawy. Mgr D. Nosov jest współautorem 10 artykułów naukowych, wliczając cytowane powyżej. Brał też udział w 14 konferencjach naukowych, co dowodzi doświadczenia w konfrontowaniu swej wiedzy ze środowiskiem naukowym uprawiającym podobne dziedziny.

Oceniana rozprawa spełnia też wymogi ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z późniejszymi zmianami*, (Dz. U. z 2022 r. poz. 574, 583, 655, 682, 807, 1010, 1079, 1117, 1459, 2185, 2306, z 2023 r. poz. 212.). Dostarczone osobno streszczenie w języku angielskim dobrze odpowiada zawartości rozprawy, której najlepsze syntetyczne podsumowanie stanowi jej rozdział 8.



INSTYTUT FIZYKI JĄDROWEJ
im. Henryka Niewodniczańskiego
POLSKIEJ AKADEMII NAUK

Układ pracy dość typowy: rozdziały wstępne 1, 2 i 3; wyniki teoretyczne: rozdziały 4, 5 i 6, przykłady wyników numerycznych: rozdział 7; podsumowanie: rozdział 8; dodatki ze szczegółami obliczeń, algorytmów i kodów programów oraz spis 125 pozycji piśmiennictwa cytowanego. Szkoda, że synteza wyników z rozdziału 8 nie znalazła się w streszczeniu.

Od strony redakcyjnej rozprawa nie jest idealna. Autor podjął próbę zaprezentowania swoich rozważań i wyników w języku polskim, co dla obcokrajowców jest zadaniem trudnym ze względu na fleksyjny charakter polszczyzny, w porównaniu z bardziej schematycznym, pozycyjnym charakterem języka angielskiego. Szczególnie trudne wydaje się polskie nazewnictwo naukowo-techniczne, np. „odporność dielektryczna” (str. 14), czy opis rysunku 2 na str. 8, albo „Najmniejsze znaczenie było obserwowano dla prostopadłego układu...” gdy zapewne chodzi o wartość parametru WIN KI. Należy jednak docenić postępy Doktoranta w tym zakresie. Wyjaśnienia wielkości w równaniach nie zawsze są wystarczające, np. wspomniana przewodność z równań (6.1) i (6.3).

Rozprawa otwiera perspektywy dalszych badań materiałów niejednorodnych. Szczególnie interesująca wydaje się zależność odpowiedzi magnetycznych, elektrycznych i sprężystych od parametrów materiałowych. M.in. warto by zbadać zachowanie pęknięć dla ujemnych wartości ilorazów Poissona występujących w auksetykach i jak na to zachowanie wpłynęłaby obecność wtrąceń elektrycznych i magnetycznych. Innymi przykładami materiałów niejednorodnych są tekstury ferroiczne. Interesujące byłoby też zbadanie zlokalizowanych wzbudzeń fononowych, magnonowych i polarytonowych, które zapewne występują na brzegach pęknięć. Być może Autor zechciałby skomentować te perspektywy podczas obrony.

Wymienione wyżej niedostatki redakcyjne nie umniejszają merytorycznej wartości zaprezentowanych wyników, zaś pytania dotyczące interpretacji tych wyników i pozornie brakujących rezultatów należy uznać za propozycje dalszych badań, co także jest zaletą rozprawy. Wobec tego stwierdzam, że oceniana rozprawa spełnia wymogi ustawy i wnoszę o dopuszczenie p. mgr. Dmytro Nosovsa do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania mu stopnia doktora nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne.