

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Eleonory Kruglenko  
pt. **"Analiza funkcjonałów niewypukłych  
charakteryzujących mikromagnetyki"**

Rozprawa poświęcona jest wybranym metodom matematycznym i obliczeniowym stosowanym w teorii mikromagnetyzmu. Teoria ta odnosi się do materiałów magnetycznych, które w mikroskali wykazują namagnesowanie spontaniczne. Mimo swej nazwy, nie sięga ona jednak do skali atomowej, posługując się kontinualnym obrazem materii, w którym stan magnetyczny opisuje się polem wektora namagnesowania. Pole to jest a priori niezależne od pozostałych stopni swobody układu. Dla genetycznie jednorodnego ciała materialnego jest przy tym fizycznie sensowne przyjęcie założenia ustalonej długości wektora namagnesowania, zależnej jedynie od rodzaju materiału i jego stanu termodynamicznego. Zmiany stanu magnetycznego wynikają wówczas jedynie z obrotów wektora namagnesowania. Dopiero w wyniku ewentualnego dalszego uśrednienia makroskopowego moduł wektora namagnesowania może przybierać wartości pośrednie, zmieniające się od krańcowej wartości nasycenia do zera włącznie. Takie właśnie podejście jest główną domeną zainteresowań Autorki. Jednym z ważnych zadań teorii mikromagnetyzmu, dalekim dziś jeszcze od zadowalającego rozwiązania, jest wyprowadzenie metod mezo- czy makroskopowego opisu magnetyków. Metody te winny okazać się skuteczne w sytuacjach, gdy wysoki stopień komplikacji stanu mikroskopowego praktycznie uniemożliwia jego efektywne obliczenie.

Poza wstępem i podsumowaniem, rozprawa zawiera pięć rozdziałów, z których dwa mają charakter wprowadzający, a trzy dalsze służą prezentacji jej głównych wyników. Autorka rozpoczyna od przedstawienia rysu historycznego oraz zestawu wiadomości na temat zasadniczych faktów mikromagnetyzmu i fizycznych podstaw jego teorii. Zakres tej prezentacji wykracza poza wiedzę niezbędną dla dalszego ciągu rozprawy, stanowi jednak wartościowe tło dla rozważanych później problemów wyspecjalizowanych. Do najważniejszych faktów należy tutaj omówienie i uzasadnienie struktury funkcjonału energii mikromagnetyków nieodkształcalnych oraz ciał magnetosprężystych.

Trzeci rozdział rozprawy ma z kolei charakter czysto matematyczny - poświęcony jest omówieniu podstawowych pojęć i metod rozwijanych później i wykorzysty-

wanych w dalszych częściach rozprawy. Przytoczone są definicje dolnej półciągłości, niezbędne usubtelnienia pojęcia wypukłości funkcjonału, oraz wprowadzenie do teorii miar Younga, stanowiących jedno z głównych narzędzi matematycznych wykorzystywanych w rozprawie.

Kolejne dwa rozdziały poświęcone są zastosowaniu przedstawionego wyżej aparatu teoretycznego do zagadnień dotyczących mikromagnetyków nieodkształcalnych. Główne założenie metodologiczne polega tutaj na pominięciu energii oddziaływań wymiennych. Z ogólnego funkcjonału energii przedstawionego w rozdziale drugim pozostają wówczas dwa składniki wewnętrzne - energia anizotropii i energia magnetostatyczna - uzupełnione energią sprzężenia z polem zewnętrznym.

Powstające w ten sposób funkcjonały tracą właściwości gwarantujące istnienie rozwiązań klasycznych. Sytuacja zmienia się radykalnie na korzyść po uogólnieniu przestrzeni rozwiązań przez dopuszczenie funkcji, których wartościami są miary Younga.

Rozdział szósty - kończący merytoryczną część rozprawy - poświęcony jest magnetykom odkształcalnym. Autorka bada tutaj relację pomiędzy magnetykiem nieściśliwym a ciałem magnetosprężystym dowodząc, przy założeniu nasycenia magnetycznego, istnienia przejścia granicznego.

## Uwagi krytyczne

1. Główna zastosowana przez Autorkę metoda postępowania w teorii mikromagnetyków nieodkształcalnych opiera się na delikatnym i niebezpiecznym zabiegu pominięcia energii wymiany w funkcjonale energii. Następuje to przez nadanie współczynnikowi  $\alpha$  wartości równej zero. Pominięty zostaje w ten sposób składnik zawierający najwyższą pochodną. Nawet przy małej wartości współczynnika składnik ten ma decydujący wpływ na charakter i skalę przestrzenną struktury domenowej w próbce mikromagnetycznej. Ogólnie mówiąc, im mniejsza jest wartość współczynnika  $\alpha$ , tym bardziej rozbudowana jest struktura domenowa. Rozszerzenie przestrzeni dopuszczalnych rozwiązań na miary Younga ratuje sytuację tylko częściowo - nadal niemożliwe jest odtworzenie przestrzennej skali struktury domenowej. Okoliczności te wymagają dyskusji, której brakuje w rozprawie.

2. Jako jedną z możliwości rozwiązywania niewypukłych zagadnień mikromagnetyzmu Autorka wskazuje "metodę uwypuklenia", polegającą w efekcie na

zastąpieniu problemu oryginalnego przez zastępczy problem wypukły. Postępowanie takie, mające co najwyżej pewną wartość heurystyczną, trudno jednak uznać za *metodę* rozwiązywania. Pod względem fizycznym problem zastępczy dotyczy bowiem faktycznie innego materiału magnetycznego, o zdecydowanie odmiennych właściwościach fizycznych, a pod względem matematycznym, na skutek linearyzacji przestrzeni wartości wektora namagnesowania, wykracza poza ramy teorii mikromagnetyzmu.

Na szczęście Autorka metodę tę jedynie wzmiankuje, ale z niej nie korzysta.

3. Rozpatrzony w rozdziale piątym przykład numeryczny jest mało realistyczny. Autorka posłużyła się zaczerpniętym z literatury przykładowym kształtem pola zewnętrznego bez należytego krytycyzmu. Jako pole źródeł dalekich powinno ono być w obszarze próbki bezźródłowe i bezwirowe - żaden z tych warunków nie jest jednak spełniony.

4. Zakres zagadnień poruszanych w końcowym rozdziale szóstym jest mało spójny z poprzedzającą częścią rozprawy. Autorka przywraca niezerową energię wymiany, co nie daje się uzasadnić samą tylko różnicą między magnetykami nieodkształcalnymi i ciałami magnetosprężystymi, a nadaje rozważaniom całkowicie odmienny charakter. Wskutek tego rozprawa sprawia wrażenie dość eklektycznej.

5. Rozprawa zredagowana jest mało starannie, nie osiągając w tym zakresie standardu oczekiwanego od prac naukowych w ogóle, a od rozpraw na stopień naukowy w szczególności. Zawiera ona liczne drobne niespójności i pomyłki, które zakomunikowałem Autorce odrębną drogą. Otrzymane pisemne odpowiedzi Autorki załączam. Przed publikacją rozprawy usterki te powinny być usunięte.

## Ocena pracy

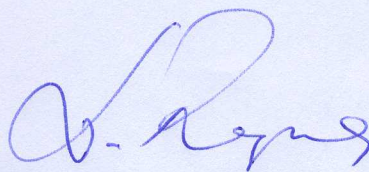
Tematyka rozprawy, dotycząca metod matematycznych teorii mikromagnetyzmu, stanowi ważny poznawczo i aplikacyjnie dział teorii magnetyzmu. Zakres poruszanych w rozprawie problemów jest celowy z punktu widzenia rozwoju wiedzy w tej dziedzinie. Fakt, że teoria mikromagnetyzmu operuje stanami namagnesowania o wartościach określonych na sferze, skutkuje nieprzydatnością wielu klasycznych metod matematycznych stosowanych skutecznie w innych działach teorii ośrodków materialnych i teorii pola. Niezbędny jest bardziej rozbudowany i pogłębiony aparat matematyczny. Wymagana jest dobra znajomość zarówno klasycznego aparatu analizy funkcjonalnej w zastosowaniu do równań różniczkowych, jak też i nowych metod nieliniowej analizy funkcjonalnej, intensywnie rozwijanych

na świecie w ostatnich latach. Wybór głównej metody wykorzystywanej w rozprawie - uogólnionych rozwiązań o wartościach w przestrzeniach miar Younga - należy ocenić jako trafny. Mimo nierozstrzygniętych dotychczas wielu kwestii interpretacyjnych, jest to obiecująca metoda pozwalająca opisywać rozbudowane układy domenowe w sposób zbliżony do makroskopowego, bez nadmiernie szczegółowego wnikania w ich rozmieszczenie, a jednocześnie operująca lokalnymi rozkładami namagnesowania. W porównaniu z klasycznymi metodami makroskopowymi, posługującymi się uśrednionymi wartościami wektora namagnesowania, podejście to daje znacznie większe możliwości efektywnego opisu stanu materiałów magnetycznych.

## Konkluzja

Rozprawa przedstawia syntetyczne ujęcie wybranych współczesnych problemów teorii mikromagnetyzmu, zilustrowane oryginalnymi przykładami. Autorka wykazała rozległą wiedzę w tym zakresie, jak też i umiejętność jej zastosowania. Praca spełnia wymagania stawiane ustawowo rozprawom doktorskim. W przekonaniu, że Autorka zasługuje na stopień doktora nauk technicznych w zakresie mechaniki, stawiam wniosek o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

6.06.2007



Prof. dr hab. Dominik Rogula