

Prof. dr hab. Henryk Figiel
Akademia Humanitas
w Sosnowcu

Kraków, 24 maja 2023 r.

Recenzja pracy doktorskiej

Mgr inż. Weroniki Mazur

The development of NMR imaging applications for nano- and micrometric porous systems in the presence of non-uniform magnetic field gradients

Obserwujemy obecnie intensywny rozwój zastosowań techniki obrazowania magnetyczno-rezonansowego nie tylko dla potrzeb medycyny, lecz także w innych dziedzinach wiedzy takich jak biologia, badania materiałowe i geofizyka i to zarówno na obiektach makro- jak i mikroskopowych. Natomiast w ramach rozwoju samej techniki obrazowania coraz istotniejszą rolę zyskuje obrazowanie dyfuzyjne. W badaniach dyfuzyjnych istotne są jednorodne gradienty dyfuzyjne, które w rzeczywistości nie są doskonałe i powodują zmniejszenie rozdzielczości obrazów. Uwzględnienie tego faktu i efektów z tym związanych w badaniach właściwości mikro-materiałów stanowi podstawę, na której oparta jest recenzowana praca. Charakterystyczną cechą tej pracy jest, że autorka pokazuje możliwości obrazowania dyfuzyjnego z korektą wpływu niejednorodności gradientów pól magnetycznych przy różnych wartościach i konfiguracji pola stałego.

Praca jest napisana w języku angielskim, liczy 69 stron i jest oparta na cyklu 6 prac opublikowanych w języku angielskim w recenzowanych specjalistycznych czasopismach o zasięgu międzynarodowym, których kopie są załączone do pracy. W trzech z nich doktorantka jest pierwszą autorką, w dwóch drugą a w jednym trzecią. Elementem wiążącym te artykuły z dziedziny fizyki medycznej, chemii i geofizyki jest wpływ roli niejednorodności tzw. gradientów dyfuzyjnych na wyniki badań porowatych obiektów nano- i mikroskopowych w zakresie obrazowania dyfuzyjnego.

Tekst pracy jest obszernym wprowadzeniem do zagadnień będących przedmiotem badań autorki przedstawionych w tych 6 pracach i zawiera 4 rozdziały. W pierwszym zaprezentowane są i ciekawie omówione motywy i cel pracy. W tym rozdziale autorka interesująco przedstawia rys historyczny rozwoju obrazowania magnetyczno-rezonansowego i wskazuje na istotny w ostatnich latach wzrost trudnych technicznie badań dyfuzyjnych, a w szczególności z uwzględnieniem korekty wpływu niejednorodności gradientów dyfuzyjnych. Na tym tle cel jej pracy dotyczący badań dyfuzyjnych porowatych obiektów nano- i mikroskopowych z uwzględnieniem niejednorodności gradientów dyfuzyjnych staje się jasny i jednocześnie ambitny.

Rozdział II zawiera informacje o podstawach MRJ, zasadach obrazowania magnetyczno-rezonansowego, omówienie znaczenia czasów relaksacji i przedstawienie podstaw obrazowania dyfuzyjnego. Szczegółowo omówiono też właściwości tensora dyfuzji, których zrozumienie jest istotne dla poprawnej interpretacji wyników obrazowania dyfuzyjnego. Zarówno zakres jak i dobór zagadnień w tym rozdziale świadczy o dogłębnym zrozumieniu podstaw fizycznych techniki obrazowania magnetyczno-rezonansowego przez

autorkę. Dowodem doskonałego opanowania przez autorkę również wiedzy praktycznej dotyczącej obrazowania jest umiejętność pracy z systemami obrazowania w szerokim zakresie stosowanych pól magnetycznych – od tak zwanej MoUSE z niejednorodnym niskim polem magnetycznym - systemu przeznaczonego do badań struktur powierzchniowych, układu z niskim polem magnetycznym (0.05 T), systemem medycznym o polu 3 T, aż do systemu wysoko-polowego (9,4 T). Na tych systemach wykonane zostały wszystkie badania omawiane w rozprawie.

Rozdział III zawiera omówienia wyników prac autorki. Omówienia zostały zgrupowane w trzech podrozdziałach. Pierwszy dotyczy postępu w obrazowaniu biologicznych i porowatych materiałów i omawiane w nim są prace A1 i A2 wykonane przy zastosowaniu obrazowania na układzie MoUSE z stałym polem magnetycznym o silnym gradiencie służącym do badań struktur przypowierzchniowych. Badano w tych pracach odpowiednio przygotowane warstwy drożdży oraz komórek macierzystych. W pracy A1 dotyczącej badań drożdży przy nowatorskim zastosowaniu symulacji TDDC wykazano, że dyfuzyjnie ważony sygnał echa spinowego MoUSE jest czuły na niuanse budowy struktur biologicznych o wymiarach do 0,08 μm . W pracy A2 podjęto badania też przy użyciu MoUSE w celu uzyskania informacji dotyczących mikroskopowych parametrów komórek macierzystych typu WJMSC. Przeprowadzone badania dyfuzyjne przy zastosowaniu symulacji TDDC pozwoliły określić współczynniki samodyfuzji wewnątrzkomórkowej i cytoplazmy, co może być pomocne w badaniach zastosowań komórek macierzystych.

Drugi podrozdział dotyczy badań na dużym systemie (3T) do badań medycznych. Celem tych prac było zastosowanie techniki badań dyfuzyjnych z uwzględnieniem korekty niejednorodności gradientów (BSD – DTI) do diagnostyki dwóch pacjentów z chorobą tętnic obwodowych PAD. Obrazy uzyskane przy pomocy standartowych sekwencji obrazowych (T1 i T2 ważonych) były porównywane ze skorygowanymi obrazami dyfuzyjnymi i pokazano, że parametry dyfuzyjne są czułe na parametry medyczne charakteryzujące stan choroby. Dodatkowo w art. A4 pokazano możliwość zastosowania traktografii do charakterystyki stanu zaawansowania stanu choroby.

W trzecim podrozdziale autorka omawia prace dotyczące próbek geologicznych. Badania skał zaprezentowano tu w pracy A5 na niskopolowym systemie MRJ o polu 0,05 T. Zagadnieniem materiałowym była tu analiza w guzkowej krzemionce z Jury Krakowsko-Częstochowskiej. Przeprowadzone badania wykazały, że ten materiał również ma porowatą mikrostrukturę mezoporów (< 50 nm) i makroporów (> 50 nm), czego dotychczas nie zaobserwowano.

Praca A6 prezentuje badania próbek rdzeni węglanowych zawierające mikropory, wykonane na systemie obrazowania o bardzo silnym polu magnetycznym (9,4T). Przeprowadzono badania techniką obrazowania dyfuzyjnego (DTI), co pozwoliło określić parametry tensora dyfuzji (DT) i scharakteryzować dyfuzję i skorelować je z mikrostrukturą porów. Badania skał w tak silnym polu pozwalają uzyskać dużą rozdzielczość obrazów, a także bardziej dokładne parametry dyfuzyjne umożliwiające precyzyjną analizę mikrostruktury badanych skał.

Omawiane prace autorki opublikowane w recenzowanych specjalistycznych czasopismach są na bardzo wysokim poziomie naukowym i trudno w nich znaleźć jakiegokolwiek błędy czy usterki. Eksperymenty w nich są jasno przedstawione i omówione, ich

interpretacja jest logiczna, a wnioski w pełni uzasadnione. Również omówienie tych prac przez autorkę świadczy o jej dużej wiedzy fizycznej i kompetencji w dziedzinie obrazowania, a sposób prezentacji jest w pełni zrozumiały i jasny.

Jej prace stanowią istotny wkład do dalszego wdrażania badań dyfuzyjnych z uwzględnieniem korekty jednorodności gradientów dyfuzyjnych, co pozwala na bardziej precyzyjne określanie parametrów dyfuzyjnych badanych materiałów jak i pogłębioną diagnostykę medyczną.

Doktorantka przedstawiając te prace zaprezentowała się jako osoba posiadająca dogłębną wiedzę fizyczną w dziedzinie obrazowania magnetyczno-rezonansowego i duże zdolności doświadczone w pełni kwalifikujące ją do dalszej pracy badawczej.

Chciałbym podkreślić, że zaprezentowane prace doktorantki są pięknym przykładem zastosowania opracowanych przez jej promotora Artura Krzyżaka metodyki i algorytmów (BSD-DTI) pozwalających korygować obrazy tomografii magnetyczno-rezonansowej wazone zmianami dyfuzji płynów zawierających wodór ^1H w różnych zakresach stosowanych pól magnetycznych.

Po analizie przedstawionych prac nasuwa mi się jeszcze następujące pytanie. System MoUSE jest stosunkowo prostym urządzeniem, jednakże na tym systemie uzyskane zostały bardzo ciekawe wyniki dotyczące dyfuzji w nanomateriałach korzystając z bardzo złożonych algorytmów. Czy zdaniem doktorantki ta droga badań znajdzie zainteresowanie, wobec konkurencyjnych możliwości badań o wysokiej rozdzielczości w bardzo silnych polach magnetycznych?

Na duże uznanie zasługuje też aktywność naukowa doktorantki w zespole badawczym jej promotora. Należy tu wymienić jej udział w trzech projektach badawczych, pięć publikacji nie związanych z pracą doktorską, udział w 13 konferencjach, na których w dwóch przypadkach uzyskała wyróżnienia za najlepszy poster, a w dwóch uzyskała wyróżnienia jako najlepsza wśród uczestniczących studentów.

Doktorantka prezentując swe 6 obszernych prac naukowych, z których w trzech jest pierwszą autorką, wykazała się umiejętnością badań eksperymentalnych na systemach obrazowania magnetyczno-rezonansowego o zróżnicowanych polach magnetycznych, co nie jest łatwe, a także wykazała się dużą wiedzą fizyczną jasno i logicznie interpretując wyniki badań, wskazując jednocześnie możliwość zastosowania użytych przez nią technik badawczych w innych badaniach nanomateriałów. Dlatego wysoki poziom prac autorki i tekstu jej rozprawy jest dla mnie również podstawą do wniosku o wyróżnienia pracy doktorskiej pani mgr inż. Weroniki Mazur.

Biorąc pod uwagę zarówno wysoki poziom naukowy prac będących podstawą doktoratu jak i bardzo kompetentne wprowadzenie do tematu i omówienie załączonych prac pragnę stwierdzić, że rozprawa doktorska magister inżynier Weroniki Mazur w pełni spełnia kryteria dotyczące rozpraw doktorskich zgodnie z brzmieniem ustawy o stopniach i tytule naukowym. W związku z powyższym stawiam wniosek o przyjęcie tej rozprawy doktorskiej i o dopuszczenie mgr inż. Weroniki Mazur do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Higiel

