



UNIWERSYTET MIKOŁAJA KOPERNIKA

CENTRUM ASTRONOMII

Adres do korespondencji: ul. Gagarina 11, 87-100 TORUŃ

tel. 611-30-02, 611-30-03, 611-30-05

Strona domowa: <http://www.astr.uni.torun.pl>

fax: 611-30-08, 611-30-09

e-mail: tcfa@astr.uni.torun.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Błażeja Nikiel-Wroczyńskiego

„Existence and importance of magnetic field in tight pairs and groups of galaxies”

Rozprawa doktorska mgr Błażeja Nikiel-Wroczyńskiego, wykonana pod kierunkiem prof. dr hab. Marka Urbanika i dr Marka Jamrozego, poświęcona jest badaniom fizycznych własności ośrodka międzygalaktycznego w grawitacyjnie silnie oddziaływujących galaktykach. Rozprawę stanowi monotematyczny cykl prac poświęconych studiom międzygalaktycznego pola magnetycznego w zwartych parach i grupach galaktyk, ze szczególnym uwzględnieniem pól magnetycznych w przestrzeni międzygalaktycznej.

Ten obszar badań jest szczególnie intrygujący. Indywidualny gwiazdowy cykl ewolucyjny, wzajemne przyływowe oddziaływanie galaktyk oraz ruch własny w gorącym (do 1-10 mln. K) ośrodku międzygalaktycznym mają zapewne istotny wpływ na ich unikatową ewolucję.

Ważnym parametrem opisującym spójność i stabilność struktury jest obecność uporządkowanego pola magnetycznego. Galaktyczne dynamo w niezakłóconym systemie galaktyki zawierającej gwiazdy, gaz neutralny i zjonizowany, przy średnim tempie wybuchających supernowych wraz z różnicową rotacją układu potrafi, jak pokazano teoretycznie, wyprodukować stosunkowo silne pole magnetyczne biegnące wzdłuż ramion spiralnych. Zatem badania galaktyk poddanych zewnętrznemu wpływowi zaburzającemu ich „spokojną ewolucję” mogą dostarczyć ważnych dowodów, z jednej strony potwierdzających mechanizmy powstania uporządkowanego pola, z drugiej zaś umożliwiającich oszacowanie wpływu takich czynników zewnętrznych. Teza doktorska mgr Nikiel-Wroczyńskiego obejmuje studia ciasnych grup galaktyk, charakteryzujących się silnym wzajemnym oddziaływaniem grawitacyjnym, wpływającym niewątpliwie na procesy ewolucyjne całej grupy.

Oceniana rozprawa wpisuje się znakomicie w tematykę studiów kosmicznych pól magnetycznych, realizowaną przez krakowską grupę radioastronomów z OA UJ. Rozprawa jest kontynuacją dotychczasowych badań, z rozszerzeniem tematyki o diagnozowanie wpływu czynników zewnętrznych. Rozprawa dotyczy aktualnych zagadnień astrofizyki ośrodka międzygalaktycznego i stanowi oryginalne przedsięwzięcie badawcze.

Zastosowana metoda badań polegała na przeprowadzeniu kompleksowych pomiarów emisji radiowej w szerokim zakresie częstotliwości ze szczególnym akcentem położonym na wyznaczeniu polaryzacji promieniowania. Wyniki naukowe zaprezentowane w rozprawie wskazują na bardzo dobrą znajomość narzędzi badawczych oraz na ich skuteczne użycie.

Doktorant uczestniczy w pracach zespołowych od kilku lat i ma już swój oryginalny, znaczący udział w badaniach fizycznych własności i ewolucji galaktyk spiralnych i karłowatych. Jego dorobek wg. bazy danych ADS to 7 publikacji recenzowanych z indeksem cytowań 59.

Rozprawa oparta jest na prezentacji i omówieniu wyników badań uzyskanych i opublikowanych w latach 2013-2015. Napisana w języku angielskim, zawiera dwuczęściowy (części I i II), 30 stronicowy opis oraz kopie (część III) recenzowanych publikacji tworzących wspólnie jednorodny materiał tezy doktorskiej.

W szczególności część I zawiera: (rozdział 1) ogólny wstęp dotyczący historii badań oddziaływujących galaktyk oraz podsumowanie celów naukowych jakie postawił sobie autor rozprawy, przyjęte założenia tezy doktorskiej, (rozdział 2) przegląd wiedzy na temat pól magnetycznych w galaktykach, z rozwinięciem tematu na omówienie procesów fizycznych generacji i wzmocnienia pola oraz

przedstawienie metod pomiaru natężenia i własności emisji spolaryzowanej. W części I znajdujemy także podsumowanie aktualnej wiedzy o własnościach pól magnetycznych w przestrzeni międzygalaktycznej.

W części II, (rozdział 3) - najważniejszej części rozprawy, autor omawia uzyskane wyniki przeprowadzonych przez siebie badań dotyczących istnienia i znaczenia pól magnetycznych w ciasnych parach i grupach galaktyk. Część II zawiera syntetyczny opis uzyskanych wyników, opublikowanych w pięciu artykułach naukowych. Cztery prace ukazały się w druku, piąta została zgłoszona do druku. Publikowane są w wiodących wydawnictwach o zasięgu światowym – MNRAS, A&A oraz ApJ. Mgr Błażej Nikiel-Wroczyński jest w tych publikacjach pierwszym i wiodącym autorem.

Opublikowane prace stanowiące trzon doktoratu zostały już zrecenzowane przez wysokiej klasy specjalistów przed ich publikacją, zatem rola recenzenta tezy doktorskiej sprowadzić się może jedynie do formalnej oceny wykorzystanego materiału, istotności wkładu własnego oraz do weryfikacji poprawności postępowania doktorskiego. Niezależnie od powyższego, w komentarzu recenzenta do tej części rozprawy wypada podsumować najważniejsze dokonania naukowe Kandydata i wskazać na ich znaczenie.

Publikacja nr.1: Nikiel-Wroczyński et al. (2013) *Astron. Astrophys.* 553, 4 "Radio continuum observations of the Leo Triplet at 2.64 GHz."

Ten najbliższy nas tryplet galaktyk obserwowano 100m radioteleskopem na częstotliwości 2,64 GHz. Uzyskano wysokiej jakości mapy emisji całkowitej i spolaryzowanej. Pomimo dużej czułości nie wykryto obecności rozciąglej emisji w obszarach pomiędzy galaktykami. W pracy wyznaczono ograniczenie na obecność uporządkowanego międzygalaktycznego pola, które jeśli jest, musi być słabsze niż 1,6 μG . Natężenie całkowite pola jest mniejsze niż 2,8 μG . Doktorant miał duży własny udział w przygotowaniu projektu obserwacyjnego, osobiście wykonał redukcję i analizę danych. W istotny sposób uczestniczył w dyskusji i napisaniu publikacji.

Publikacja nr.2: Nikiel-Wroczyński et al. (2013) *Mon. Not. Roy. Astr. Soc.* 435, 149 "Intergalactic magnetic fields in Stephan's Quintet"

Odkryta w roku 1877 grupa pięciu galaktyk była przedmiotem studiów przez prawie półtora wieku. „Kwintet Stephana” jest encyklopedycznym przykładem silnych oddziaływań prowadzących do charakterystycznych „deformacji” struktur, wymuszonej aktywności gwiazdotwórczej, przepływu materii gazowej (HI) i obecności szoków. Jest on jednym z najlepszych przykładów silnych oddziaływań i stanowi wdzięczny przedmiot studiów. W publikacji nr.2 przedstawiono rezultaty obserwacji radiowych wykonanych teleskopem VLA na dwu częstotliwościach – 1,43 i 4,86 GHz oraz komplementarnych obserwacji 100m radioteleskopem MPIfR na częstotliwościach 4,85 i 8,35 GHz.

Odtworzono mapy emisji radiowej całkowitej i spolaryzowanej, wyznaczono pozycję wektora B. Dla całej obserwowanej struktury rozciąglej wyznaczono wskaźniki widmowe emisji nietermicznej oraz wyliczono natężenia pola magnetycznego zarówno dla składowej całkowitej jak i uporządkowanej. Dla pewniejszej oceny natężenia pola w obszarze obserwowanego szoku wykorzystano archiwalne dane z rentgenowskiego teleskopu kosmicznego *Chandra* (0,4-3 keV). Dane te przetworzone zostały do formatu mapy 2D i bezpośrednio porównane z mapami emisji radiowej. Praca zawiera szczegółowe, fundamentalnej natury dane, dotyczące radiowej emisji i jej depolaryzacji oraz detaliczne obliczenia i dyskusję przydatne dla każdego astronoma studiującego „Kwintet Stephana”.

Ważnym wynikiem rozprawy jest naturalnie odkrycie relatywnie silnego pola magnetycznego w przestrzeni międzygalaktycznej (całkowite pole $\sim 6 \mu\text{G}$, uporządkowana składowa $\sim 1 \mu\text{G}$), oraz w karłowatej galaktyce tzw. "przyływowej", powstałej z gazu wyrzuconego z galaktyk "Kwintetu".

Wkład doktoranta polegał na wykonaniu końcowej (ale najważniejszej) redukcji danych z VLA i Effelsberg 100m, przeprowadził szczegółową analizę danych, w tym także w innych zakresach widma (X-ray, HI, H α), miał zasadniczy udział w pisaniu publikacji, oraz co było także odnotowane w skutecznej polemice z recenzentem publikacji.

Publikacji nr.3: Nikiel-Wroczyński, B. et al. (2014) Mon. Not. Roy. Astr. Soc. 444, 1729
"Multiwavelength study of the radio emission from a tight galaxy pair Arp 143"

Publikacja zawiera wyniki obserwacji na częstotliwościach 234 i 612 MHz przeprowadzonych na teleskopie GMRT oraz analizę porównawczą z danymi VLA w pasmach 1490, 4860, 8440 i 14940 MHz. Mapy emisji radiowej uzyskane dla całego obszaru pierścienia galaktyk w tak szerokim paśmie pozwoliły wyznaczyć fizyczne własności emitujących obszarów i określić ich wiek. Rezultaty te dotyczą głównie dwu dominujących galaktyk (NGC 2444 i NGC2445) ale doprowadziły do detekcji i pomiaru natężenia międzygalaktycznego pola magnetycznego pomiędzy obydwoma galaktykami.

Wkład doktoranta w realizację tego projektu był zasadniczy. To był jego projekt - oryginalny pomysł i strategia badań, napisanie propozycji obserwacyjnej na GMRT, redukcja i analiza danych GMRT i VLA, przeprowadzenie kompleksowej analizy wykonanych pomiarów, przeprowadzenie analizy spektralnej, wyznaczenie energetyki źródeł oraz ich wieku, napisanie publikacji.

Publikacja nr.4: Nikiel-Wroczyński et al. (2014) Astrophys. J. 786, 144 *"Discovery of a Tidal Dwarf Galaxy in the Leo Triplet."*

Publikacja ta jest ważnym rozszerzeniem pracy nr.2. Korzystając z wcześniejszych własnych analiz dynamiki układu galaktyk „trypletu”, doktorant zbadał emisję wodoru neutralnego w obszarze przyływowym w oparciu o radiowe dane archiwalne VLA i dane z SDSS. Wyniki obserwacji i przeprowadzone analizy doprowadziły do odkrycia niemagnetycznej galaktyki przyływowej (TDG). Publikacja demonstrowa istnienie co najmniej dwu rodzajów "przyływowych karłowatych galaktyk": posiadających i nie posiadających dynamicznie istotnych pól magnetycznych. W tej publikacji doktorant ma zasadniczy wkład. To jego pomysł i strategia badań, samodzielnie wykonał redukcję i przeprowadził analizę danych HI z VLA, przeprowadził analizę kinematyki gazu. Miał wiodący udział w napisaniu publikacji.

Publikacja nr.5: Nikiel-Wroczyński et al. (2015) wysłane do Mon. Not. Roy. Astr. Soc. *"Probing the magnetic field of the nearby galaxy pair Arp 269"*

Przedmiotem badań była para galaktyk NGC4490/85, znana jako *Cocoon Galaxy* - Arp 269. W tym celu przeprowadzono własne obserwacje teleskopem GMRT na częstotliwości 610 MHz oraz wykorzystano dane archiwalne z VLA (1,49 4,86 8,46 13,9 22,5 GHz) oraz własne dane z obserwacji 100m radioteleskopem MPIfR (94,86 i 8,35 GHz). Emisja radiowa została zdekomponowana do dwu składowych termicznej i nietermicznej. Wyznaczono własności pola magnetycznego i wiek spektralny. Praca ta to szczegółowa analiza pól magnetycznych ciasnej pary pobliskich galaktyk, demonstrująca istnienie magnetycznych wypływów gazu. Zaskoczeniem jest to, że nie są one związane ze znanymi obszarami wypływu neutralnego gazu.

Wkład doktoranta do projektu, to oryginalny jego pomysł, napisanie propozycji obserwacyjnej na GMRT i przeprowadzenie obserwacji, redukcja danych VLA, analiza danych GMRT, połączenie danych 100m i VLA, napisanie publikacji.

Całościowe podsumowanie wyników prezentowanych w rozprawie znajduje się w Części II - w rozdziale 4.

Do najważniejszych wyników rozprawy wg. mojej oceny zaliczyć trzeba:

- uzyskanie znakomitej jakości radiowych map emisji całkowitej i spolaryzowanej na wielu częstotliwościach, z wykorzystaniem najlepszych istniejących teleskopów i najnowszych metod obróbki danych,
- wyznaczenie podstawowych parametrów fizycznych dla źródeł punktowych i obszarów emisji rozciągłej
- detekcja uporządkowanego pola magnetycznego w obszarach silnego oddziaływania przyływowego, nie pokrywająca się z wypływami zimnego gazu materii neutralnej (HI)

- przedstawienie dowodów wspierających hipotezę, iż pole magnetyczne nie jest przywiązane do chłodnych, neutralnych obłoków międzygwiazdowych,
- pokazanie, że pomiary polaryzacyjne są najlepszym (a niekiedy jedynym) sposobem na identyfikowanie wpływów zjonizowanego (gorącego) gazu i określania dynamiki oraz wieku oddziałujących galaktyk,
- wykazanie, że energia pola magnetycznego jest co najmniej porównywalna do energii termicznej emitującego gazu, co dowodzi istotnego znaczenia pola B w ogólnym procesie ewolucji układu,
- odkrycie relatywnie silnego pola magnetycznego w karłowatej „przypływowej galaktyce” TDG NGC7319.

Podsumowanie:

Przedstawiona do oceny praca doktorska mgr Błażeja Nikiel-Wroczyńskiego spełnia formalne wymagania pod każdym względem. Starannie, choć nazbyt zwięźle napisane wprowadzenie do tematyki rozprawy poprzedza równie skrótowy opis wartościowego materiału obserwacyjnego otrzymanego przez doktoranta przy pomocy największych teleskopów radiowych i syntetyczne przedstawienie uzyskanych wyników naukowych.

Rozprawa zawiera dobrze sformułowany temat przewodni, określa cele badawcze, autor wykorzystuje najlepsze istniejące narzędzia badawcze i posiadał umiejętności stosowania najnowszych narzędzi obliczeniowych, osiąga znaczące naukowe rezultaty, przeprowadza analizę ich znaczenia w swojej dziedzinie badań. Mgr Nikiel - Wroczyński stworzył cykl pionierskich prac dotyczących międzygalaktycznych pól magnetycznych. Kandydat praktycznie samodzielnie przygotował cały proces badawczy od koncepcji poprzez przygotowanie obserwacji, aż do opracowania i publikacji materiału obserwacyjnego. Praca jest dobrze skomponowana i zredagowana odnosi się do bogatej starannie wybranej bibliografii (70 pozycji).

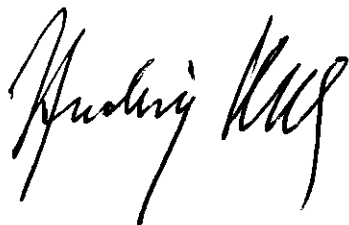
Rozprawa wnosi istotny wkład do rozwiązywania aktualnych zagadnień współczesnej astrofizyki w badaniach mechanizmów wzmocnienia pól magnetycznych w galaktykach i wpływu czynników zewnętrznych na tempo powstawania gwiazd oraz ogólną ewolucję galaktyk. Mgr Błażej Nikiel-Wroczyński wykazał się wymaganą samodzielnością oraz niezwykłą umiejętnością i skutecznością publikowania prac naukowych. **Zasłużone uznanie dla autora rozprawy i gratulacje dla Promotorów.**

Nie mam żadnych istotnych merytorycznych uwag krytycznych, natomiast mam kilka wątpliwości natury formalnej.

Rozprawa przypomina bardziej rozprawę habilitacyjną niż tezę doktorską. Brak moim zdaniem w przedstawionej rozprawie szerszego wprowadzenia i szczegółowych opisów metod badawczych i uzyskanych wyników pośrednich, a także opisu metod teoretycznego modelowania. Rozprawa może być przewodnikiem dla studentów, w tym kolejnych doktorantów podejmujących podobną tematykę.

Na podstawie otrzymanej dokumentacji i wydrukowanej tezy doktorskiej nie było łatwo obiektywnie ocenić własne dokonania doktoranta. Oświadczenia współautorów oprócz deklaracji ich własnego wkładu nie zawierały istotnej informacji o udziale doktoranta. Nie był to jednak trudny problem, konsultacje z promotorem i współautorami pozwoliły jednoznacznie pozytywnie wyjaśnić kwestię autorstwa.

Przedłożona do oceny rozprawa spełnia zwyczajowe i ustawowe wymagania stawiane tezom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony. Z uwagi na wysoką wartość naukową rozprawy wnoszę o jej wyróżnienie.



Prof. dr hab. Andrzej Kus
Centrum Astronomii UMK
87-100 Toruń, Gagarina 11.

Toruń 8.08.2015.