

dr hab. Krzysztof Nalewajko
Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika
Polskiej Akademii Nauk
ul. Bartycka 18, 00-716 Warszawa

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Anny Wójtowicz
***“Radio emission in early-type galaxies:
radio loudness, jet duty cycle, and large-scale environment”***

Mgr Anna Wójtowicz przedstawiła rozprawę doktorską składającą się z trzech głównych rozdziałów stanowiących odrębne artykuły naukowe, z których dwa (Rozdziały 2, 3) zostały opublikowane (ApJ), natomiast trzeci (Rozdział 4) ma być złożony do publikacji (także ApJ). Oprócz tego rozprawa zawiera zwięzły rozdział wstępny (Rozdział 1) oraz bardzo krótki rozdział końcowy (Rozdział 5). Przedmiotem rozprawy są wybrane statystyczne własności obserwowanej emisji radiowej z masywnych galaktyk eliptycznych (oraz soczewkowatych) w różnych fazach ich aktywności. Każdy artykuł dotyczy konkretnego acz odrębnego zagadnienia. Wszystkie artykuły są wieloautorskie we współpracy międzynarodowej, a z oświadczeń współautorów wynika, że wkład mgr Wójtowicz był na poziomie ok. 2/3.

Rozdział 2 przedstawia analizę jasności radiowych młodych radiogalaktyk znajdujących się w bardzo wczesnej fazie dość intensywnej aktywności. Występujące w tych obiektach akreujące czarne dziury produkują relatywistyczne dżety o dużej mocy, jednak ze względu na niewielki wiek dżetów, związane z nimi struktury radiowe są bardzo zwarte. Dzięki określeniu kinematycznego wieku tych radioźródeł, możliwe jest oszacowanie mocy ich dżetów na dwa niezależne sposoby. Stosunek mocy dżetu do tempa akrecji nazywany jest efektywnością produkcji dżetu. Rozdział 2 przedstawia kilka wyników dotyczących efektywności produkcji dżetu, z których najciekawszy jest diagram typu jasność – twardość. Przedstawiona tutaj analiza oparta jest o niewielką próbkę 17 źródeł, dlatego jej wyniki należy traktować ostrożnie. Wg. NASA/ADS, od publikacji tego artykułu w roku 2020, uzyskał on już 16 cytowań.

Rozdział 3 przedstawia analizę własności obserwacyjnych oraz dynamiki dojrzałych radiogalaktyk typu FR II (próbka 253 źródeł), na podstawie której proponowana jest nowa metoda szacowania gęstości ośrodka międzygalaktycznego otaczającego struktury radiowe. Podstawą tej metody jest korelacja pomiędzy gęstością ośrodka a indeksem widmowym emisji radiowej (pomiędzy częstotliwościami 0.4 a 5 GHz w układzie źródła). Korelacje różnych parametrów obejmujących własności obserwacyjne oraz model dynamiczny DYNAGE zostały starannie przeanalizowane metodą Bayesa.

KN

Rozdział 4 przedstawia analizę jasności radiowych dla bliskich galaktyk eliptycznych o niskiej lub bardzo niskiej jasności radiowej (próbka 62 źródeł). Głównym wynikiem jest nieznaną wcześniej bimodalność rozkładu tej jasności, sugerująca podział tych galaktyk względem wartości $\log(L_r/L_{\text{Edd}}) = -8.5$ na „radiowo jasne” oraz „radiowo ciemne”. Przedstawiono także argumenty, wedle których podział ten może wynikać z odmiennego pochodzenia emisji radiowej.

Przedstawioną rozprawę oceniam jako bardzo dobrą. W każdym z trzech artykułów przedstawiono nowy, potencjalnie ważny rezultat. Poniżej wymieniam kilka uwag krytycznych. Jest ich niewiele, w większości są to jedynie drobne niedociągnięcia.

1. Rozdział 1 koncentruje się na bardzo ogólnych własnościach galaktyk, brakuje mi natomiast praktycznego omówienia stosowanych narzędzi statystycznych (np. metody Bayesa) czy katalogów danych obserwacyjnych.
2. Rozdziały 2 i 4 wymieniają „Chandré” oraz „XMM-Newton” jako teleskopy rentgenowskie o wysokiej rozdzielczości kątowej. Jednakże różnica pomiędzy rozdzielczościami tych teleskopów wynosi czynnik ~ 10 na korzyść Chandry, a zatem trudno jest traktować uzyskane z nich wyniki jako porównywalne.
3. Rozdział 3 przedstawia korelację pomiędzy radiowym indeksem widmowym a gęstością ośrodka międzygalaktycznego jako metodę szacowania owej gęstości dla odległych radioźródeł. Brakuje mi dyskusji w jakim zakresie poczerwienień mogłaby być taka metoda zastosowana, na podstawie jakich danych, jaka jest jej spodziewana dokładność.
4. W Rozdziale 4 proponowana jest nowa klasyfikacja galaktyk eliptycznych na „radiowo jasne” i „radiowo ciemne”. Brakuje mi dyskusji zestawiającej tę klasyfikację z klasycznym podziałem galaktyk aktywnych na „radiowo głośne” i „radiowo ciche” omówionym szczegółowo we wstępie do tego artykułu. Czy dostępne są dane ($L_{5\text{GHz}}$, L_B) pozwalające wyznaczyć klasyczny parametr radiogłośności dla tej próbki galaktyk? Jest to istotne także w kontekście „paradygmatu spinu”, który był szeroko dyskutowany jako potencjalne wyjaśnienie klasycznej radiogłośności (Sikora et al. 2007). Jeżeli bowiem spin miałby wyjaśnić różnicę między galaktykami „radiowo jasnymi” a „radiowo ciemnymi”, czy mógłby jednocześnie wyjaśniać galaktyki „radiowo głośne”. W kontekście modelu Blandforda-Znajka, nie jest wspomniany drugi kluczowy parametr determinujący moc dżetu, czyli strumień magnetyczny przez horyzont czarnej dziury.
5. W Rozdziale 4.4, w opisie Rysunku 4.6, wymienione są dwa źródła (NGC 5128, NGC 2110) odbiegające („outliers”) od trendu („star formation sequence”). Tymczasem Rysunek 4.6 pokazuje przynajmniej 5 punktów w znacznej odległości od linii trendu.
6. Rozdział 1 zawiera kilka błędów merytorycznych:

KN

- Czarne dziury nie posiadają powierzchni;
 - ADAF-y nie są dyskami, więc w ogólności powinno się mówić o „przepływach akrecyjnych”; Najjaśniejszymi dyskami akrecyjnymi są raczej „szczupłe dyski”, przyjmując, że efektywność promienista zmniejsza się stopniowo z narastającym tempem akrecji (Abramowicz et al. 1988);
 - Rozdzielczość obserwacji M87 na częstotliwości 86 GHz przedstawionych w pracy Kim et al. (2018) to 7 promieni Schwarzschilda, a nie 7 promieni grawitacyjnych (co więcej, takie obserwacje nie pokazują gdzie znajduje się „dysk akrecyjny”, więc nie mogą powiązać z nim podstawy dżetu); Na obrazie polarymetrycznym z ALMA (Rysunek 1.8) nie dostrzegam „regular circular magnetic field lines”;
 - Klasyfikacja Fanaroff-Riley wymaga przynajmniej 3 komponentów, aby wyznaczyć jasność w centrum struktury radiowej;
 - Gromady galaktyk nie są największymi związanymi grawitacyjnie strukturami we Wszechświecie, wyróżnia się jeszcze supergromady;
 - Promieniowanie synchrotronowe nie wymaga silnych pól magnetycznych (np. płaty radiogalaktyk).
7. Pod względem językowym rozprawa jest bardzo dobra, choć drobnych usterek nie brakuje (np. „jet-lunching”, „deluded”, „ensamble”, brakes ^ breaks, conversation ^ conversion), jednak nie wpływają one na zrozumienie tekstu. Nie przekonuje mnie pisanie łącznie „starformation”, nie jestem też zwolennikiem historycznych pojęć „early/late type”.

Podsumowując, rozprawa doktorska mgr Anny Wójtowicz jest bardzo dobrze napisana i zawiera szereg ciekawych oryginalnych wyników w zakresie własności radiowych galaktyk eliptycznych. Rozprawa ta spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim w ustawie „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz.U. z 2020 r. poz. 85 z późn. zm.). Z pełnym przekonaniem wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Co więcej, istnieją przesłanki za wyróżnieniem rozprawy mgr Wójtowicz. Potencjalny związek pomiędzy efektywnością produkcji dżetu a stanem akrecyjnym w młodych radiogalaktykach (Rozdział 2), choć wymaga potwierdzenia dla znacznie większej liczby obiektów, może znacząco wpłynąć na postrzeganie procesu formowania się relatywistycznych dżetów. Także propozycja nowej klasyfikacji radiowej galaktyk eliptycznych (Rozdział 4) jest wynikiem o dużym potencjale wpływu. Czas pokaże, czy tak się stanie, niemniej przynajmniej pierwszy artykuł mgr Wójtowicz został już doceniony.



Krzysztof Nalewajko