



UNIwersytet
MIKOŁAJA KOPERNIKA
W TORUNIU
Wydział Fizyki, Astronomii
i Informatyki Stosowanej

Dr hab. Krzysztof Katarzyński prof. UMK
Centrum Astronomii UMK

Toruń, 29 marca 2019 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej pani mgr. Urszuli Pajdosz-Śmierciak pt. *Niskoenergetyczna, dyfuzyjna emisja blazarów a model unifikacyjny aktywnych galaktyk*, przygotowanej pod kierunkiem dr. hab. Mariana Sojdy oraz dr. Błażeja Nikiel-Wroczyńskiego – Obserwatorium Astronomiczne UJ.

Recenzowana rozprawa doktorska przedstawia badania blazara SBS B1646+499, gdzie analizowane są rozległe struktury (tzw. płyty radiowe), produkujące promieniowanie w radiowym zakresie widma elektromagnetycznego. Emisja ta zachodzi głównie w przedziale niskich częstotliwości od kilkuset MHz do kilku GHz. Praca ta bazuje na danych obserwacyjnych pozyskanych przy użyciu najlepszych interferometrów radiowych (GMRT, LOFAR, VLA), jakimi można prowadzić obserwacje w tym zakresie widma. W przypadku młodego naukowca, pozyskanie czasu obserwacyjnego oraz ważnych danych z najlepszych obserwatoriów, można uznać za spory sukces. Stanowi to niewątpliwie bardzo silny punkt recenzowanej pracy. Docenić trzeba też umiejętność właściwej redukcji tego typu obserwacji, gdzie procedura uzyskania dobrych map badanych obiektów jest dość skomplikowana. Szczególnie cenna jest umiejętność redukcji danych z nowego i dość specyficznego interferometru jakim jest LOFAR. Należy też dodać, że część uzyskanych obserwacji oraz ich interpretacja zostały opublikowane w prestiżowym, recenzowanym czasopiśmie astronomicznym (ApJ), co stanowi kolejną ważną zaletę tej pracy. Nie bez znaczenia jest też pozostały dorobek publikacyjny doktorantki, który pokazuje, że angażuje się ona w prace dużych międzynarodowych grup badawczych. Generalnie można powiedzieć, że praca stanowi przykład dość dobrze zrealizowanego projektu badawczego. Z drugiej strony mam sporo uwag co do formy w jakiej zaprezentowane zostały wyniki tych badań oraz niektórych wniosków jakie zostały wysnute z analizy prezentowanych obserwacji. Wszystkie te zastrzeżenia zostały przedstawione w dalszej części recenzji, w takiej kolejności w jakiej występują w pracy.

Wstęp pracy zawiera krótki opis głównych celów rozprawy, informację o strukturze doktoratu oraz bardzo krótki (dwustronicowy!) rys historyczny opisujący początki radioastronomii i okrycie kwazarów. Uważam, że opis struktury pracy można było pominąć, bo nie wnosi on więcej informacji jak sam spis treści. Natomiast wspomniany rys historyczny jest zbyt skrótowy i

nieprecyzyjny. Nie rozumiem jak interferometria wielkobazowa pozwoliła zauważyć iż ...większość obiektów na radiowym niebie pochodzi spoza naszej Galaktyki... Wyznaczanie odległości do radiogalaktyk bazuje zwykle na powiązaniu tych struktur z obrazami i widmami obserwowanymi w zakresie widzialnym. Brakuje mi w tym opisie informacji o przełomowym odkryciu Maartena Schmidta, który po raz pierwszy pokazał, że kwazar 3C 273 znajduje się poza Drogą Mleczną.

Kolejny rozdział zawiera wprowadzenie w tematykę tzw. aktywnych jąder galaktyk, gdzie w pierwszej kolejności opisany został tzw. model unifikacyjny. Opis ten jest zasadniczo poprawny, ale też zbyt mało precyzyjny jak na pracę naukową. Pisząc o obłokach poruszających się z dużymi prędkościami wypadałoby podać jakiś konkretny zakres wartości. Podobnie jest z energiami dżetów, gdzie użyte zostało określenie *małoenergetyczne dżety* oraz [dżety] *posiadające bardzo wysokie energie*. O jakie energie tu chodzi? Czy są to energie cząstek w dżetach, czy może całych struktur dżetów i jakie konkretnie wartości kryją się za tymi przymiotnikami?

Prawdą jest, że mechanizm powstawania dżetów nie został jeszcze dokładnie poznany, ale z drugiej strony powstało bardzo dużo prac teoretycznych oraz symulacji numerycznych, które wiele wyjaśniają. Myślę, że wypadałoby w tym miejscu zacytować kilka fundamentalnych prac, albo przynajmniej jedną pracę przeglądową.

Opis procesów emisji typu SSC i EC jest zbyt ogólny. Te procesy to podstawa modelowania emisji blazarów. Wypadałoby zatem opisać je bardziej szczegółowo – w pracy na ten temat jest tylko jedno zdanie. Autorka wspomina też o modelach *jednostrefowych i wielostrefowych*, ale nie wyjaśnia na czym polega różnica pomiędzy tymi modelami. Píše za to, że w modelach tych są lub nie są uwzględniane dodatkowe pola promieniowania. Dla czytelnika nieobeznanego z tematem taki opis stanowił będzie raczej zagadkę niż wyjaśnienie.

W opisie emisji blazara AP Librae pada stwierdzenie, że *nie do końca poznano mechanizm promieniowania* tego obiektu, po czym następuje dość szczegółowy opis emisji synchrotronowej oraz rozpraszania typu IC w tym źródle. Trzeba się zdecydować, albo wiemy co tam się dzieje i szczegółowo to opisujemy, albo piszemy że proponowane mechanizmy emisji są niewiarygodne.

W ostatniej części tego rozdziału opisane zostały interferometry radiowe wykorzystane w prezentowanych badaniach. Podane zostały podstawowe dane techniczne tych systemów oraz niektóre specyficzne własności poszczególnych instrumentów. Czasami ten opis jest chyba jednak zbyt szczegółowy. Możemy się np. dowiedzieć, że w systemie anten LOFAR *dipole do obserwacji polaryzacji krzyżowej (?) przyłączone zostały do styropianowej obudowy taśmą klejącą*. Z drugiej strony, myślę że brakuje w tym rozdziale tabeli, w której by zostały zebrane i porównane podstawowe parametry użytych instrumentów.

Główna część pracy przedstawia obserwacje radiowe zgromadzone w celu przebadania emisji blazara SBS B1646+499. Należy tu podkreślić, że w pierwszej kolejności autorka zgromadziła bogaty materiał archiwalny, co świadczy o bardzo dobrym wstępnym przygotowaniu do dalszych badań. Sumaryczne informacje o danych archiwalnych zostały przedstawione w tabeli 3.1, gdzie moim zdaniem powinny się znaleźć również informacje o czułości oraz zdolności rozdzielczej każdego z instrumentów, aby nie trzeba ich było odszukiwać w głównym tekście pracy.

Inne moje wątpliwości budzą kontury map. W odpisie rysunku 3.1 autorka podaje, że na wszystkich mapach zamieszczonych w pracy, pierwszy, zewnętrzny kontur odpowiada zawsze poziomowi detekcji 3 sigma. Każda z map zawiera również informacje o poziomie emisji, który

odpowiada pierwszemu konturowi. W przypadku pierwszej mapy z rysunku 3.1 poziom ten wynosi 1.00 mJy/b. Przyjmując czułość VLA NVSS dla tej konfiguracji, która zgodnie z tabelą 4.1 wynosi 0.4 mJy/b, okazuje się, że pierwszy kontur odpowiada poziomowi zaledwie 2.5 sigma. Co oznacza, że południowe płaty radiowe widoczne na tej mapie są poniżej wiarygodnego progu detekcji.

Pierwszy kontur mapy pokazanej na lewym panelu rysunku 3.2 ustalony został na poziomie 4.1 sigma, co może oznaczać, że część istotnego sygnału została tu odrzucona. Dodatkowo, w tekście pracy nie odnalazłem informacji na temat średniego poziomu szumu mapy przedstawionej na prawym panelu wspomnianego rysunku.

Mapa przedstawiona na lewym panelu rysunku 3.3 zawiera pierwsze kontury na poziomie zaledwie 2.3 sigma. Co więcej, na mapie tej widać charakterystyczne koncentryczne łuki będące wynikiem złej lub niepełnej kalibracji danych. Podobne struktury można zauważyć na rysunkach 3.7 i 3.8, gdzie pokazano kolejne fazy kalibracji map radiowych. Co ciekawe, gdyby ustalić faktycznie 3 sigma jako poziom pierwszego konturu na tej mapie, to prawdopodobnie większość niepożądanych artefaktów zostałaby usunięta, ale z drugiej strony zniknąłby też południowy płat radiowy.

Kolejne mapy zawierają również arbitralnie ustalone poziomy pierwszych konturów (rys. 3.4 - 2.5 sigma, rys. 3.5 - 4 sigma, rys. 3.9 - 2.7 i 4.6 sigma). Wygląda na to, że żadna z prezentowanych map SBS B1646+499 nie ma ustalonego minimalnego poziomu na 3 sigma. Rozumiem, że intencją autorki było jak najlepsze przedstawienie zaobserwowanych, rozległych płatów emisji radiowej, przy równoczesnym możliwie maksymalnym wyeliminowaniu szumu tła. Jednak manipulowanie poziomami odcięcia na mapach bardzo utrudnia ich porównywanie.

W rozdziale 3.4 autorka nawiązując do modelowania emisji blazarów Mrk 421 (rys. 10) oraz 3C 371 (Ghisellini et al. 2011) stwierdza, że *dane w zakresie radiowym (dokładniej – poniżej 10^{12} Hz) wykazują niezgodność z dopasowanymi modelami*. Wspomniane modele zostały opracowane w celu wyjaśnienia emisji z zakresu X i gamma, gdzie obserwuje się zmienność w skalach czasowych dni a nawet godzin. Szybka zmienność narzuca ograniczenie na rozmiar emitującego obszaru. W przypadku 3C 371 rozmiar emisji przyjęty w pracy Ghisellini et al. 2011 to zaledwie 4 setne parseka, podczas gdy analizowane w tym doktoracie obszary rozciągłej emisji radiowej mają rozmiary rzędu dziesiątek albo nawet setek kilo-parseków. Rozbieżność pomiędzy wspomnianymi modelami i danymi radiowymi wynika z przyjętych założeń a nie z niedoskonałości samych modeli. Różne obszary źródła trzeba modelować w różny sposób ze względu na diametralnie odmienne parametry fizyczne, jakie w nich panują. Intencją autorów wspomnianych modeli nie było wyjaśnienie rozległych struktur radiowych, nie można im więc zarzucać, że *wykazują niezgodność*.

Rysunki od 3.11 do 3.13 przedstawiają widma radiowe trzech omawianych obiektów. Nie rozumiem dlaczego autorka przedstawia te widma w konwencji, gdzie strumień radiowy jest przemnożony przez częstotliwość. Taką konwencję stosuje się zwykle przy prezentacji danych wysokoenergetycznych. Co ciekawe, skala tych rysunków rozciąga aż do tera-elektronowoltów, generując ogromne puste obszary. Stosując wspomnianą konwencję oraz skalę, należało umieścić na tych wykresach dane wysokoenergetyczne zebrane w tabeli 3.2. Osobiście jednak uważam, że rysunki te powinny zostać przedstawione w formie takiej jak wykres 4.1, gdzie wyraźnie widać błędy pomiarowe oraz łatwo można zauważyć które widmo jest płaskie a które strome.

Ostatni rozdział zawiera interpretację wyników oraz wnioski. Na rysunku 4.1 przedstawione zostały pomiary emisji radiowej centralnego, zwartego jądra SBS B1646+499 oraz punkty pomiarowe pokazujące całkowite promieniowanie tego obiektu. Do danych zostały dopasowane zależności potęgowe, które sugerują, że widmo centralnych struktur jest płaskie (indeks widmowy ~ 0), natomiast całkowita emisja, gdzie uwzględnione zostało promieniowanie rozległych płatów radiowych, jest bardziej stroma (indeks widmowy ~ -0.2). Pierwsze co zwraca uwagę na tym wykresie, to znaczny rozrzut punktów pomiarowych uzyskanych na tych samych częstotliwościach (np. 150 MHz). Ma to potwierdzenie w danych przedstawionych w tabeli 4.1, gdzie pomiary z instrumentów LOFAR i GMRT na 150 MHz różnią się o czynnik bliski 2. Należy tu dodać, że instrumenty te posiadają podobny rozmiar wiązki na 150 MHz, ale różnią się znacznie pod względem czułości. Wygląda na to, że dużo mniejszy strumień zaobserwowany przez GMRT związany jest ze znacznie słabszą czułością tego instrumentu. Co nie zmienia faktu, że uzyskany pomiar obarczony jest znacznym błędem instrumentalnym i właściwie powinien być odrzucony z analizy, albo błąd ten powinien zostać odpowiednio uwzględniony. Inna sprawa, to same wartości błędów, które zgodnie z informacjami zawartymi w tabeli 4.1 są symetryczne, zatem na wykresie logarytmicznym słupki błędów powinny być asymetryczne, a tak nie jest. Tego typu niedociągnięcia podważają wiarygodność uzyskanych dopasowań.

W dalszej części tego rozdziału autorka wylicza tzw. parametr dominacji jądra (P_{CD}). Wykorzystuje do tego szereg parametrów, których wartości nie zostały nigdzie podane, albo są one tożsame innym wartościom, tylko nie zostało to sprecyzowane. Czy S_{core} to to samo co S_{inn} itd.? Do wyliczenia P_{CD} wymagane są indeksy widmowe, które można wyznaczyć z pomiarów wykonanych na co najmniej dwóch różnych częstotliwościach, natomiast w tabeli 4.2 podane zostały wyliczenia dla pojedynczych częstotliwości. Jak to zostało policzone? Dodatkowo, wartości P_{CD} dla częstotliwości 150 MHz uzyskane z pomiarów LOFAR i GMRT różnią się znacząco. Czy to też wynika z wspomnianego wyżej, zaniżonego strumienia GMRT?

Jak wyliczony został strumień bolometryczny, skoro widmo SBS B1646+499 jest dość niekompletne? Brakuje np. maksimum emisji gamma (rys. 4.2), która może dominować w tym źródle.

Na stronie 71 autorka pisze, że między innymi brak widocznego dżetu z przeciwnej strony źródła *implikuje niewielki kąt widzenia dżetu względem obserwatora*. Dziesięciokrotna różnica w poziomie emisji dżetów może być osiągalna już przy kącie 60 stopni a stukrotna różnica dla kąta około 35 stopni. Zatem brak drugiego dżetu nie implikuje małego kąta pomiędzy osią dżetu a kierunkiem do obserwatora.

W dalszej części tego rozdziału (strona 80) autorka stwierdza, że *dopasowanie modelu ... do rozkładu energii spektralnej [SBS B1646+499] ... może stanowić wyzwanie ze względu na konieczność odrzucenia standardowego modelu emisji blazarów*. Nie ma czegoś takiego jak standardowy model emisji blazarów. W literaturze zostało zaproponowanych wiele różnych modeli emisji blazarów, które często wychodzą z podobnych założeń, ale nie stanowią one jakiegось standardowego modelu. Nie ma zatem czego odrzucać.

Na stronie 81 autorka wyjaśnia brak tzw. gorącej plamy. Z drugiej strony na prawie wszystkich mapach (np. rys. 3.5) widać zarówno po południowej jak i północnej stronie silne i zwarte obszary emisji, które leżą niemalże w osi symetrii dżetu. Często uznaje się takie obiekty za źródła niezwiązane z celem badań, które przypadkowo znalazły się w polu widzenia. Jenak na

stronie 52 możemy przeczytać, że *identyfikacja emisji dyfuzyjnej z którymkolwiek z obiektów tła naokoło SBS B1646+499 została wykluczona*. Powstaje zatem pytanie czym są te silne źródła emisji?

Podsumowanie wyników pracy przedstawione zostało na stronach 88-89 w postaci 6 punktów. W nawiązaniu do drugiego z tych punktów muszę stwierdzić, że analiza widmowa została przeprowadzona jedynie dla całkowitej emisji radiowej i punktowego źródła centralnego a nie jak twierdzi autorka dla trzech komponentów. W trzecim punkcie autorka twierdzi, że wyznaczone zostało natężenie pola magnetycznego oraz indeks spektralny blazara. To jest duże uogólnienie, gdyż parametry te zostały wyznaczone jedynie dla płatów radiowych a nie dla wszystkich możliwych składników tego obiektu. W ostatnim punkcie autorka stwierdza, że określona została przyczyna rozbieżności pomiędzy modelami blazarów (dlaczego teraz modelami a nie standardowym modelem?) a danymi obserwacyjnymi. Tak jak już pisałem wcześniej, rozbieżność ta wynika jedynie z przyjętych założeń i tego co te modele mają faktycznie wyjaśnić.

Na koniec recenzji chciałbym też przedstawić kilka uwag odnośnie formy w jakiej zaprezentowana została praca. Mam szereg wątpliwości co do sformułowań i terminologii użytej w tekście. Muszę tu zacząć od samego tytułu, gdzie użyte zostało sformułowanie *Niskoenergetyczna, dyfuzyjna emisja...* W pracach radioastronomicznych operuję się raczej częstotliwościami lub długościami fali a nie energiami fotonów. Określenie diffuse emission jest poprawne w języku angielskim, natomiast jego poprawność w języku polskim może budzić wątpliwości. Dyfuzja w języku polskim to głównie nazwa konkretnego procesu fizycznego, a nie synonim słów rozległy czy rozciągły. A już zupełnie niedopuszczalne jest pisanie *rozciągła struktura dyfuzyjna* (np. strona 72), co sugeruje, że struktura ta powstała w procesie dyfuzji, co oczywiście nie jest prawdą. Podobnie jest z określeniami *dżet jądrowy* czy *dżet nuklearny* są one dość niejednoznaczne nawet w języku angielskim, gdzie oznaczają przeważnie samolot odrzutowy z napędem atomowym. Jeszcze gorzej jest gdy się pisze *jądrowe centrum obiektu* (strona 32). Inną istotną wadą tej pracy jest stosowanie odnośników do cytowanych artykułów w postaci kolejnych numerów. Wiele cytowanych tu prac to dość dobrze znane artykuły naukowe, które czytelnik obeznany w tej tematyce łatwo rozpozna po nazwiskach autorów i dacie publikacji. Uważam, że powinno się stosować formę np. Urry i Padovani 1995 zamiast [112]. W pracy irytuje też to, że niektóre informacje są powtarzane. Na przykład opis procesów zachodzących w dysku akrecyjnym na stronie 17. Opisy poszczególnych kolumn w tabelach nie powinny znajdować się w głównym tekście pracy (np. strona 56), tylko w opisach tabel. Ponadto większość tych opisów jest zbędna, bo nie wnoszą one więcej informacji niż jest to zawarte w samych tabelach.

Z drugiej strony należy przyznać, że praca napisana jest poprawnym językiem, co sprawia że czyta się ją bezproblemowo. Należy to docenić, bo w dzisiejszych czasach niestety nie jest to już standardem, nawet w przypadku prac doktorskich.

W podsumowaniu tej recenzji chcę podkreślić, że praca stanowi przykład dobrze zrealizowanego projektu naukowego, który dostarczył interesujących danych obserwacyjnych. Szereg uwag krytycznych przedstawionych w tej recenzji odnosi się głównie do formy prezentowanych wyników, natomiast nie umniejszają one wagi osiągnięcia. Chodziło mi głównie o zwrócenie uwagi na niektóre niedociągnięcia tak, aby nie pojawiły się one przy pisaniu kolejnych prac.

Oceniam, że praca ta spełnia wszelkie zwyczajowe i ustawowe kryteria jakie stawia się rozprawom doktorskim i wnoszę o jej dalsze procedowanie przez Radę Wydziału Fizyki Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego.



Krzysztof Katarzyński

29 marca 2019 r.