

**RECENZJA ROZPRAWY HABILITACYJNEJ**  
**i dorobku naukowego w postępowaniu habilitacyjnym**  
**Dr Magdaleny Kunert-Bajraszewskiej**

**Motywacja naukowa:**

Od ponad 10 lat, Pani Dr Magdalena Kunert-Bajraszewska zajmuje się obserwacjami oraz badaniem własności i czasowej ewolucji tzw. „zwartych” radioźródeł, tj. takich których rozmiar kątowy w niewielkim stopniu przewyższa zdolność rozdzielczą radioteleskopów. Oznacza to, iż poznanie ich struktury przestrzennej (morfologii) i własności składników takiej struktury wymaga użycia aparatury o możliwie najwyższej zdolności rozdzielczej – a więc dużych radiowych sieci interferometrycznych. Powyższy „techniczny” podział radioźródeł w dużej mierze pokrywa się z podziałem fizycznym na struktury radiowe znajdujące się głęboko wewnątrz macierzystej (optycznej) galaktyki, i struktury rozciągające się daleko poza nią.

Możliwość prowadzenia takich badań oznacza konieczność dostępu do odpowiedniej aparatury, a więc umiejętność przedstawienia tak dobrego projektu badawczego, by gwarantował otrzymanie czasu obserwacyjnego. Stąd też przedstawione prace (publikacje) Pani Doktor bazują przede wszystkim na obserwacjach wykonanych brytyjską siecią radioteleskopów MERLIN, ale też na orbitalnym teleskopie rentgenowskim Chandra.

Zasadniczym problemem naukowym, na którym skupia się autorka, jest relacja pomiędzy tymi „zwartymi” a „rozciągniętymi” radioźródłami, mając ambicję przyczynienia się do poznania dróg ewolucyjnych pomiędzy różnymi typami radioźródeł. Problemem jest skala czasowa procesów fizycznych. Z wyjątkiem nielicznych szybko-zmiennych radioźródeł w których zmiany jasności, czy nawet „ruch własny”, można zaobserwować w ciągu dziesiątek lat – skala czasowa zjawisk, znana z przesłanek teoretycznych, wynosi co najmniej  $10^3$  -  $10^5$  lat. Dlatego też badania oczekiwanej czasowej ewolucji radioźródeł możliwe są jedynie za pomocą analitycznych modeli procesów ją determinujących.

**„Osiągnięcie naukowe”** przedłożone do przyznania stopnia naukowego Doktora Habilitowanego składa się z pięciu publikacji, z których dwie zawierają dane obserwacyjne dużej próbki starannie wybranych „zwartych” radioźródeł; dane w zakresie radiowym (Publikacja 1) oraz optycznym (Publikacja 2). Trzecia (P5) prezentuje wyniki obserwacji rentgenowskich siedmiu źródeł wyselekcjonowanych z powyższej próbki do analizy ich charakterystyk w zakresie częstotliwości (0.5 – 10) keV, oraz skonfrontowania tychże z charakterystykami radiowymi jak i optycznymi. W pozostałych publikacjach (P3 i P4) analizowane są własności dwóch szczególnie ciekawych radioźródeł.

Po przestudiowaniu oryginalnych publikacji i przeczytaniu Autoreferatu Pani Doktor, oceniam te prace i Jej osiągnięcia, jak następuje:

## Publikacja P1:

Przedstawia próbkę 44 radioźródeł typu CSS spełniającym kryterium  $\log\{L(1.4 \text{ GHz})\} < 26.5 [\text{W/Hz}]$ , dalej oznaczając je jako LLC (Low Luminosity Compact), oraz wyniki obserwacji dużej części tej próbki na częstotliwościach 1.66 GHz i 5 GHz przy pomocy sieci radioteleskopów MERLIN. Podstawowe parametry radiowe próbki określono korzystając z danych archiwalnych ogólnodostępnych przeglądów nieba FIRST(1.4 GHz) i GB6 (4.85GHz). Obserwacje MERLIN pozwoliły na uzyskanie, w miarę szczegółowych map tych radioźródeł, pozwalających na określenie morfologii ich struktury, rozpoznanie obecności (lub nie) jądra radiowego, itp. Na podstawie tych map rozróżniono w próbce cztery typy morfologiczne: *single*, *core-jet*, *double-lobed* i *other*. Na opublikowanych mapach zaznaczono pozycję obiektu optycznego (galaktyki lub kwazara) uważanego za macierzysty dla danej struktury radiowej. Według baz danych NED i SDSS, większości tych obiektów posiada spektroskopowy redshift.

Według mnie, patrząc na te mapy, co najmniej kilka identyfikacji optycznych wydaje się niepewnych ze względu na kątową separację pomiędzy zaznaczoną pozycją obiektu optycznego a strukturą radiową. Być może były inne przesłanki uzasadniające daną identyfikację, lecz w oryginalnej publikacji nie ma żadnych informacji by przekonać czytelnika. Gdyby rzeczywiście były one błędne, to przypisane źródłom parametry radiowe i optyczne (moc źródła, rozmiar liniowy, typ i charakterystyki optyczne) też będą niewłaściwe.

Podsumowaniem tych obserwacji radiowych jest dyskusja położenia 38 z 44 radioźródeł typu LLC ze swojej próbki względem źródeł innych typów morfologicznych (GPS, silne CSS, FRI, FRII) na znanym wykresie moc źródła – rozmiar liniowy. Wynikiem tej dyskusji jest sugestia, iż większość źródeł typu LLC stanowią struktury krótko-żyjące i nie mające szans na ewolucję do dużych rozmiarów. Jeżeli tak jest, to reprezentowały by one inną „ścieżkę ewolucyjną” niż silne źródła CSS będące, z dużym prawdopodobieństwem, wczesnym stadium ewolucji do typu FRII. Bardzo oryginalną spekulacją autorów jest sugestia, iż te krótkotrwałe epizody aktywności źródeł LLC mogą się powtarzać wiele razy zanim (ewentualnie) będą w stanie wyewoluować zarówno do rozmiaru większego niż macierzysta galaktyka, jak i wielkoskalowe struktury typu, np. FRI.

W tym miejscu muszę zauważyć, że w przedstawionych publikacjach Pani Doktor, wnioski odnoszące się do ewolucji badanych struktur radiowych są z reguły umiarkowane i spekulatywne, oparte głównie na danych obserwacyjnych. W tym kontekście, kategoryczne stwierdzenia podane w Autoreferacie typu: „... twierdzą, że niektóre obiekty ... wygasną na obecnym etapie ...”; „Analiza ... wskazuje, że większość źródeł będzie ewoluować ...”; „pokazuje, że ścieżka ewolucyjna ... nie jest tylko jedna”; „Wybór ścieżki ... dokonyuje się już na bardzo wczesnym etapie rozwoju radioźródła”, budzą zdziwienie, gdyż są tylko przypuszczeniami wymagającymi udowodnienia, co oczywiście może nie być łatwe.

## Publikacja **P2**:

W tej publikacji badane są charakterystyki optyczne 29 z 44 radioźródeł z próbki przedstawionej w publikacji P1. Do badania służą autorom widma oraz dane linii widmowych dostępne w bazie danych katalogu SDSS/DR7. Na podstawie wartości stosunków natężenia określonych linii, klasyfikują widma macierzystych galaktyk jako HEG lub LEG (wysokie lub niskie wzbudzenie emisji gazowych obszarów otaczających ich jądro (AGN)), uzupełniając w ten sposób charakterystyki radioźródeł typu LLC o ich typ optyczny.

Dane optyczne uzyskane dla tych radioźródeł zostają tu użyte do porównania z ich odpowiednikami w innego typu źródłach (silne GPS i CSS, FRI, FRII) na diagramach jasność linii L[OIII] $\lambda$ 5007 – moc radiowa oraz jasność linii L[OIII] $\lambda$ 5007 – rozmiar liniowy. W wyniku pokazano, iż słabe źródła LLC nie zmieniają wysokiej korelacji L[OIII] $\lambda$ 5007 – moc radiowa, natomiast wyraźna korelacja [OIII]  $\lambda$ 5007 – rozmiar liniowy obserwowana dla silnych źródeł GPS i CSS znika po uwzględnieniu obiektów typu LEG z próbki LLC. Istotnym wynikiem jest też pokazanie, że podział radioźródeł wszystkich typów morfologicznych jedynie na dwie grupy HEG i LEG skutkuje ich wyraźną separacją na diagramie L[OIII] $\lambda$ 5007 – moc radiowa: „ścieżkę” ewolucyjną silnych źródeł typu HEG (CSS+FRII), oraz „ścieżkę” źródeł typu LEG (CSS+FRI+FRII), przy czym jasność linii [OIII] $\lambda$ 5007 na pierwszej ścieżce jest około 10 $\times$  większa od tych na drugiej.

## Publikacja **P5**:

Ta publikacja poświęcona jest detekcji promieniowania rentgenowskiego w obszarze siedmiu radioźródeł wybranych z próbki przedstawionej i analizowanej w pracach P1 i P2. Obserwacje wykonane przy użyciu aparatury Chandra pozwoliły na użyteczną detekcję promieniowania X jedynie czterech z tych radioźródeł znajdujących się w niezbyt odległych ( $z < 0.3$ ) macierzystych galaktykach (*jak było do przewidzenia; J.M.*). Niemniej jednak, jest to znaczące uzupełnienie populacji radioźródeł typu CSS/GPS z zaobserwowanym promieniowaniem X, gdyż tylko 6 silnych źródeł rentgenowskich, związanych ze strukturami tego typu, było dotąd znanych.

Otrzymane mapy X-ray dla trzech z tych siedmiu radioźródeł pokazują, że rentgenowskie halo ma mały rozmiar (rzędu 5 – 10 kpc) porównywalny, lub nawet mniejszy, od rozmiaru struktury radiowej – a więc leżące wewnątrz macierzystej galaktyki. Głębszą analizę jednego z tych radioźródeł (J1321+045) zawiera publikacja P4.

Z pomiarów tych wyznaczono strumienie promieniowania (lub ich górną granicę) w dwóch zakresach X-ray, które następnie skonfrontowano ze strumieniem radiowym, jak i strumieniem optycznym w linii tlenu [OIII] (publikacja P2). Wielkości te, uzupełniające odpowiednie dane dla znanych radioźródeł różnych typów morfologicznych (CSS, GPS, FRI i FRII) i dostępnych w literaturze, posłużyły autorom do

- określenia optycznego typu widmowego (LEG/HEG) AGN'u macierzystej galaktyki, oraz
- analizy zależności jasności rentgenowskiej źródeł od ich charakterystyk radiowych (jasność, rozmiar) z uwzględnieniem tego typu.

Najważniejszym wynikiem tej pracy jest pokazanie istotnej statystycznie różnicy pomiędzy jasnością rentgenowską a jasnością radiową dla AGN'ów typu HEG a tymi typu LEG. **Mając jednak na uwadze dużą dyspersję tych wielkości w każdym z dwóch powyższych typów optycznych, (modu wzbudzenia) nieuprawnione jest twierdzenie, iż oba typy galaktyk „zajmują oddzielne obszary na wykresie  $\log\{L(X\text{-ray}) - \log\{L(\text{radio})\}$  niezależnie od wieku”** (wystarczy spojrzeć na lewy panel Rys. 4). Autorzy słusznie podkreślają, iż użycie całkowitych strumieni promieniowania do obliczenia tych jasności (luminosity L) może powiększać ich dyspersję. Ale to nie wszystko! Trzeba zwrócić uwagę właśnie na fakt, że radioźródła różnych typów morfologicznych z pewnością są obserwowane w różnej fazie ich ewolucji i różnym wieku. Wiadomo, że radiowa jasność rozciągniętych źródeł szybko ewoluuje w czasie, zaś pochodzenie i ewolucja czasowa obszarów promieniowania rentgenowskiego są jeszcze mało poznane.

W publikacji **P3**:

- (1) analizowana jest struktura radiowa jednego z dwóch kwazarów tworzących podwójny system niewątpliwie wzajemnie oddziaływających grawitacyjnie mas [**Uwaga!** radioźródło to nie należy do próbki P1 i P2, choć spełnia kryteria selekcji; dlaczego?], oraz
- (2) rozważane są trzy możliwe przyczyny obserwowanej dystorsji tej struktury.

Na wstępie było wiadomo, że obydwie składniki systemu różnią się zarówno jasnością optyczną i bardzo znacznie radiową ( $>40\times$ ), jak również natężeniem linii emisyjnych w widmie optycznym.

Autorki przedstawiają wynik swych obserwacji na częst. 1.66 GHz i 5 GHz wykonanych przy pomocy systemu MERLIN, odkrywając dużą asymetrię jasności obszarów źródła przeciwnych względem jądra radiowego (C), oraz dwie „gorące plamy” (W1 i W2) na południowo-zachodnim krańcu struktury, rozumiejąc ją jako znaczącą dystorsję, przyczyny powstania której poświęcają tą pracę. W tym celu analizują optyczny obraz galaktyk których jądra tworzą te właśnie kwazary, z dostępny z archiwum teleskopu Hubble'a. Stwierdzają, że morfologia jaśniejszej i „radio głośniejszej” galaktyki jest wyraźnie zaburzona i zaburzenia te korespondują ze złożoną strukturą południowo-zachodniego płata radiowego. Autorki sugerują, że struktura wzdłuż osi E-C-W1 może być śladem pierwszego cyklu aktywności przedwcześnie stłumionego przez niestabilność dysku akrecyjnego, zaś obszar W2 może być związany z wtórnym cyklem aktywności dżetowej propagującym się już w innym kierunku wskutek oddziaływania pływowego sąsiedniej galaktyki

Istotnym punktem tej publikacji są rozważania trzech scenariuszy, które mogą tłumaczyć złożoność obserwowanej struktury radiowej: (a) niestabilność dysku akrecyjnego, (b) precesja dysku wraz z dżetem wskutek sił pływowych od sąsiedniej galaktyki, oraz (c) skomplikowane oddziaływanie niejednorodnego ośrodka na propagację dżetu.

W mojej opinii są to rozważania bardzo ogólnikowe; wydaje się iż w tym konkretnym radioźródle scenariusze (a) i (b) oraz hipoteza przejawu kolejnych cykli aktywności, nie mają silnego oparcia w obserwacjach, gdyż takie – sąsiadujące ze sobą - „gorące plamy” (tu W1 i W2) występują w płatach wielu rozległych (rzędu setek kpc) radioźródłach, których aktywne jądra raczej nie podlegają siłom pływowym (*vide* np. kwazary 3C303, 3C351).

Natomiast niewątpliwą niejednorodność ośrodka ISM (punkt c) może tu rzeczywiście być dominującym czynnikiem dystorsji struktury radiowej. Świadczy o tym choćby widmo radiowe

bardzo podobne do widm reliktowych radioźródeł w gromadach galaktyk (porównaj: Slee et al. 2001; Murgia et al. 2011), których ewolucja czasowa determinowana jest głównie przez czynniki środowiskowe, jak gęstość, ciśnienie, etc.

#### Publikacja **P4**:

Przedstawia detekcję rentgenowskiego halo wokół radioźródła typu CSS należącego do próbki przedstawionej w pracach P1 i P2. Okazało się, że odkryte halo znajduje się w znanej gromadzie galaktyk w konstelacji *Virgo*. Jest to więc druga gromada emitująca rentgenowsko, w centrum której istnieje słabe radioźródło o niskim modzie wzbudzenia LEG. Odkrycie to stanowi ewenement, gdyż jedynym dotąd znanym zwartym źródłem obserwowanym w centrum dużego rentgenowskiego halo był silny kwazar 3C186 typu morfologicznego FR II, będący w bardzo wczesnej fazie jego ewolucji (ok. 150 000 lat, wg. *mojego, nieopublikowanego wyniku*).

Otrzymane zliczenia umożliwiły autorom wyznaczenie widma rentgenowskiego w trzech wzrastających odległościach od centrum tego halo i określenie rozkładów temperatury jasnościowej i gęstości elektronowej. Zwraca moją uwagę duża gęstość elektronowa w odległości  $\sim 5$  kpc od AGN'u, większa 2 – 3 razy od średniej wartości tego parametru w próbce bliskich gromad galaktyk (REXCESS; Croston et al. 2008), jak i w ICM wokół silnych radioźródeł typu FR II.

Tak więc konkluzja autorów, że badane radioźródło J1321+045 prawdopodobnie nigdy nie osiągnie rozmiaru swojej macierzystej galaktyki, jest słuszna. Ze swej strony chcę też podkreślić, iż możliwość obserwacyjnego wyznaczenia parametrów fizycznych ośrodka ICM, takich jak temperatura i gęstość, są bardzo użyteczne dla obserwacyjnego ograniczenia modeli dynamicznej ewolucji radioźródeł.

#### **Dorobek naukowy:**

Dotychczasowy dorobek naukowy Pani Dr Kunert-Bajraszewskiej, udokumentowany licznymi publikacjami w najważniejszych czasopismach o zasięgu międzynarodowym, jest niewątpliwie znaczący – mimo że zawsze osiągnięty przy współpracy z szeregiem współautorów wszystkich wspólnych prac.

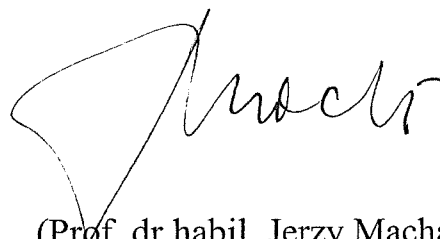
Dla mnie najważniejszym osiągnięciem tych prac jest pewien postęp na drodze wyjaśniania relacji pomiędzy „zwartymi” źródłami radiowymi, obserwowanymi głęboko w centrum macierzystych galaktyk i pochodzącymi od aktywności ich jąder, a wielko-skalowymi strukturami rozciągającymi się poza taką galaktykę, daleko w przestrzeń międzygalaktyczną. Jednak, jak wspominałem wyżej, niektóre konkluzje nt. czasowej ewolucji tych zwartych źródeł przedstawione w odnośnym publikacjach są nieuzasadnione.

Problem polega przede wszystkim na tym, że łatwo poznawalny rozmiar liniowy radioźródła (a dokładnie jego projekcja na sferę niebieską) jest uważany za proporcjonalny do jego wieku. Wiekowi zaś nie można wyznaczyć (oszacować) bezpośrednio z obserwacji. Jedyną,

możliwą do tej pory, metodą jest modelowanie charakterystyk radioźródła przy użyciu określonych modeli analitycznych, np. Kaiser & Alexander (1997); Alexander (2000); Kaiser & Best (2007). Modele takie, zwłaszcza ograniczone przez obserwacje w innych zakresach fal elektromagnetycznych (najlepiej z zakresie rentgenowskim) pozwalają na oszacowanie, nie tylko wieku danej struktury radiowej, ale też energii wydatkowanej na jej utworzenie i szeregu innych parametrów fizycznych, np. źródła energii, zewnętrznego ośrodka, etc. Koniecznym warunkiem powodzenia metody jest znajomość kształtu widma radiowego poszczególnych obszarów źródła i to w możliwie największym zakresie częstotliwości. Stąd więc konieczność dużej ilości wielo-częstotliwościowych obserwacji radiowych, silnie ogranicza możliwości takiego dynamicznego modelowania. *Powyższych uwag nie należy traktować jako krytyczne w stosunku do recenzowanego „Osiągnięcia naukowego”, lecz jako poradę dla ewentualnych dalszych badań w tym temacie.*

Reasumując, uważam że wyniki naukowe zawarte w publikacjach składających się na przedłożone „**Osiągnięcie naukowe**”, jak i zaangażowanie w inne projekty badawcze, np. te związane z warunkami obserwacji aktywności dżetowej AGNów zwróconych do obserwatora pod małym kątem widzenia (kwazary o szerokich liniach emisyjnych) – świadczą o dojrzałości naukowej Pani Dr Magdaleny Kunert-Bajraszewskiej, mają duże znaczenie w literaturze tematu, spełniają więc wymogi stawiane naukowcom w Polsce do ubiegania się o stopień naukowy Doktora Habilitowanego.

Kraków, 1 czerwca 2016 r.



(Prof. dr habil. Jerzy Machalski)