

## Autoreferat

1. Imię i nazwisko: Magdalena Kunert-Bajraszewska (z domu Kunert)

2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe:

2006: **doktor** nauk fizycznych w zakresie astronomii, Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń  
rozprawa doktorska: *Wczesne etapy ewolucji zwartych źródeł radiowych obserwacje interferometryczne*

2001: **magister**, specjalność – astronomia, Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń  
praca magisterska: *Obserwacje słabych radioźródeł typu CSS instrumentem MERLIN*

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych:

od 2013: adiunkt, Centrum Astronomii, Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń;

od 2007: specjalista naukowo-techniczny, Centrum Astronomii, Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń;

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.):

4a. Tytuł osiągnięcia naukowego:

**Dychotomia w populacji młodych AGN-ów: własności w zakresie widzialnym, radiowym oraz rentgenowskim promieniowania elektromagnetycznego.**

4b. Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego:

[P1]. **Kunert-Bajraszewska, M.**; Gawroński, M. P.; Labiano, A.; Siemiginowska, A., „*A survey of low-luminosity compact sources and its implication for the evolution of radio-loud active galactic nuclei - I. Radio data*”, 2010, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 408, 2261

[P2]. **Kunert-Bajraszewska, M.**; Labiano, A., „*A survey of low-luminosity compact sources and its implication for the evolution of radio-loud active galactic nuclei - II. Optical analysis*”, 2010, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 408, 2279

[P3]. **Kunert-Bajraszewska, M.**, Janiuk, A., „*Discovery of the Disturbed Radio Morphology in the Interacting Binary Quasar FIRST J164311.3+315618*”, 2011, Astrophysical Journal, 736, 125

[P4]. **Kunert-Bajraszewska, M.**, Siemiginowska, A., Labiano, A., „*An X-Ray Cooling-core Cluster Surrounding a Low-power Compact Steep Spectrum Radio Source 1321+045*”, 2013, Astrophysical Journal Letters, 772, L7

[P5]. Kunert-Bajraszewska, M., Labiano, A., Siemiginowska, A., Guainazzi, M., „*First X-ray observations of Low-Power Compact Steep Spectrum Sources*”, 2014, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society , 437, 3063

#### 4c. Omówienie ww. prac i osiągniętych wyników

Wybrane publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego dotyczą prowadzonych przeze mnie w ciągu ostatnich lat badań naukowych na temat ścieżek ewolucyjnych aktywnych jąder galaktyk (ang. Active Galactic Nuclei: AGN). W swojej pracy w szczególności skupiłam się na początkach ewolucji tych obiektów, a więc na badaniu własności zwartych źródeł typu CSS (ang. Compact Steep Spectrum) oraz GPS (ang. Gigahertz Peaked Spectrum). Wybrane prace składają się na spójną całość i opisują oryginalnie zaprojektowane badania, obserwacje oraz wyniki analiz, dla próbki kilkudziesięciu takich obiektów w szerokim zakresie widma elektromagnetycznego. Wykonanie tych prac było możliwe dzięki szeroko zakrojonej kampanii obserwacyjnej i oznaczało wygranę szeregu konkursów o czas obserwacyjny na radiową sieć interferometryczną MERLIN (ang. Multi-Element radio Linked Interferometer Network) oraz teleskop rentgenowski Chandra. Dodatkowo wybrane artykuły zawierają archiwalne obserwacje w zakresie widzialnym z Kosmicznego Teleskopu Hubble'a, oraz obejmują analizę ogromnej ilości danych pozyskanych z literatury.

#### 4c1. Motywacje naukowe

Aktywne jądra galaktyk stanowią od dziesięcioleci przedmiot bardzo intensywnych badań. Dzięki temu dysponujemy dziś powszechnie uznawanym modelem aktywności AGN-ów (Urry & Padovani, 1995). Według niego w centrum każdej galaktyki aktywnej znajduje się supermasywna czarna dziura (do  $10^9$  mas Słońca; np. Macchetto i in. 1997). Materia spadająca ku czarnej dziurze tworzy wokół niej dysk akrecyjny, w którym najprawdopodobniej na skutek procesów tarcia i turbulencji traci moment pędu, emitując promieniowanie w zakresie optycznym, nadfioletowym i rentgenowskim.

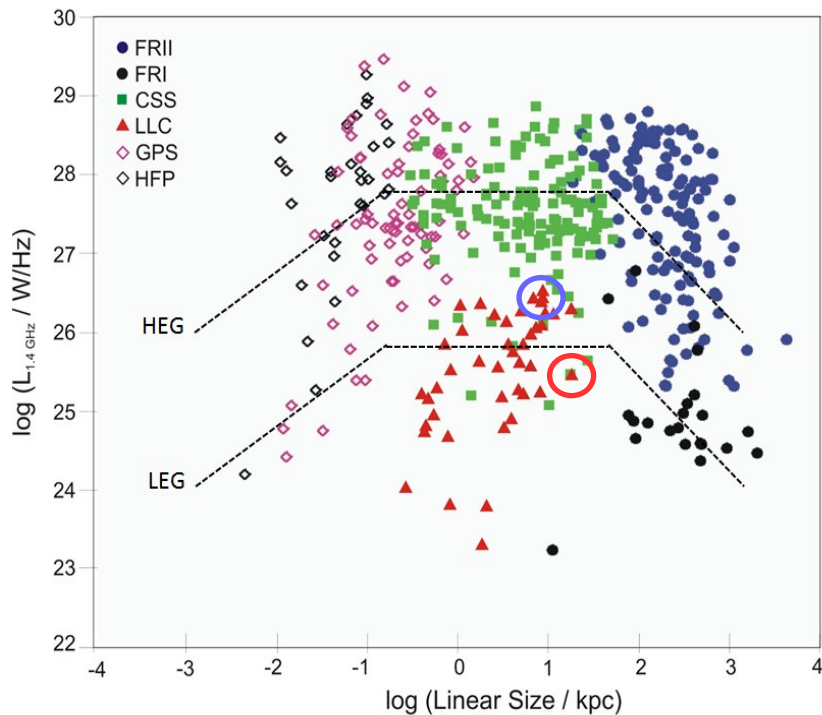
Niewielka, bo około 15-20%, część AGN-ów jest również aktywna radiowo. W obiektach tych wzdłuż osi rotacji dysku akrecyjnego powstają dżety (ang. jets), czyli wypływy relatywistycznego strumienia plazmy, która emituje promieniowanie w szerokim zakresie widma elektromagnetycznego (głównie proces synchrotronowy oraz odwrotny proces Comptona). Plazma ta oddziałując z ośrodkiem międzygwiazdowym/międzygalaktycznym oraz w niektórych przypadkach z polem magnetycznym macierzystej galaktyki zaburza swoją strukturę, co prowadzi do utworzenia m.in. płatów radiowych (ang. radio lobes). Płaty te pchane przez dżety oddalają się od siebie z prędkościami kilku procent prędkości światła i dlatego radioźródło „z wiekiem” powiększa swe rozmiary nawet do rzędu megaparseka (Owsianik & Conway, 1998, Jamroz i in. 2008). Rozmiary liniowe radioźródeł są więc miarą ich wieku (Fanti i in. 1995, Readhead i in. 1996, Snellen i in. 2000). Z wiekiem zmienia się również moc promieniowania radiowego, dlatego badanie tych zmian w większych populacjach radioźródeł pozwala uchwycić główne trendy ewolucyjne tych obiektów. Zatem ewolucję źródeł radiowych zwykle przedstawia się jako zmianę dzielności promieniowania (ang. luminosity:  $L$ ) radioźródła wraz ze wzrostem jego rozmiaru liniowego (Rysunek 1).

Według ogólnie przyjętego scenariusza mniejsze oraz młodsze AGN-y określane mianem źródeł GPS (rozmiar liniowy  $< 1$  kpc, widmo synchrotronowe o maksimum w okolicy 1 GHz) ewoluują zmieniając swoją moc, morfologię oraz kształt widma synchrotronowego do stadium pośredniego, jakimi są obiekty nadal zwarte, ale o stromym widmie<sup>1</sup>, czyli źródła CSS (rozmiar

---

1 Definicja indeksu widmowego przyjęta w pracach:  $S \sim \nu^{-\alpha}$ , gdzie  $S$  oznacza gęstość strumienia na częstotliwości  $\nu$ ,  $\alpha$  – indeks widmowy;  $\alpha \geq 0.5$  oznacza strome widmo promieniowania synchrotronowego.

liniowy  $< 15$  kpc). Te z kolei nadal zwiększając swoje rozmiary przekształcają się w wielkoskalowe obiekty typu FRI i FR II (Fanarof & Riley, 1974). Obie te grupy źródeł znacznie się różnią pod względem morfologii oraz mocy radiowej i zajmują oddzielne miejsce na wykresie ewolucyjnym (Rysunek 1). Przyczyny podziału FRI/FR II w dalszym ciągu nie są do końca jasne podobnie jak wiele szczegółów procesu ewolucji, w trakcie którego zwarte obiekty przekształcają się w wielkoskalowe źródła radiowe. Dodatkowo wiemy, że istnieje nadwyżka zwartych radioźródeł w stosunku do obiektów rozległych (O'Dea & Baum, 1997). Taki rozkład liczebności źródeł radiowych może zostać odtworzony w symulacjach komputerowych tylko wtedy, gdy założymy istnienie dodatkowej populacji młodych obiektów, które nigdy nie urosną do rozmiarów źródeł wielkoskalowych (Alexander 2000).



Rysunek 1. Wykres „moc źródła – rozmiar liniowy”, czyli ścieżka ewolucji AGN-ów. Czerwone trójkąty oznaczają nowe zwarte AGN-y, które określiłam mianem „Low Luminosity Compact (LLC) sources”, znalezione i analizowane we wskazanych pracach. Dodatkowo ścieżki HEG i LEG, oznaczające mod wzbudzenia materii w AGN-ie, zostały pokazane jako ogólne trendy wynikające m.in. z moich badań. Czerwony trójkąt otoczony czerwonym kołem pokazuje obiekt 1321+045 znajdujący się w centrum gromady emitującej promieniowanie rentgenowskie [P4]. W obszarze zaznaczonym niebieskim kołem znajduje się podwójny kwazar FIRST J1643+3156 z pracy [P3].

Moje prace wchodzące w skład osiągnięcia naukowego zawierają analizę własności próbki kilkudziesięciu zwartych AGN-ów w zakresie radiowym, widzialnym oraz rentgenowskim promieniowania elektromagnetycznego, niebadanych do tej pory. Oryginalny pomysł badań polegał na znalezieniu oraz analizie źródeł, które leżą poniżej głównego ciągu ewolucyjnego silnych AGN-ów (czerwone trójkąty na Rysunku 1). Już wcześniej przewidywaliśmy bowiem (Marecki i in. 2003, Kunert-Bajraszewska i in. 2006), że ten obszar zawiera dużą populację obiektów, których nie powinno się pomijać w rozważaniach ewolucyjnych. W szczególności znajdują się tu właśnie obiekty, które prawdopodobnie nigdy nie będą w stanie rozwinąć wielkoskalowej struktury radiowej, a których cechy radiowe, optyczne i rentgenowskie znacznie różnią się od cech znanych do tej pory silnych źródeł radiowych. Szczegółowe wyniki moich obserwacji i analiz omawiam poniżej.

## 4c2. Omówienie poszczególnych prac

### Wstęp

Artykuł [P1] zawiera analizę oryginalnych obserwacji radiowych badanej grupy obiektów oraz zaproponowany przeze mnie, na tej podstawie, zmodyfikowany schemat ewolucji radiowo-głośnych AGN-ów. W pracy tej ugruntowuję pojęcie „obiektów krótko-żyjących”. W artykule [P2] szeroko dyskutuję własności tych obiektów w zakresie widzialnym i po raz pierwszy dokonuję klasyfikacji zwartych źródeł CSS i GPS ze względu na mod wzbudzenia. Pokazuję dalej, że taka klasyfikacja ma istotne konsekwencje w rozważaniach ewolucyjnych AGN-ów i wprowadza podział AGN-ów na dwie odrębne grupy ewolucyjne: dynamicznie ewoluujące radioźródła o wysokim modzie wzbudzenia, oraz słabo rozwijające się obiekty o niskim modzie wzbudzenia. Artykuł [P5] zawiera pierwsze rentgenowskie obserwacje słabych radiowo zwartych AGN-ów, które należą do mojej próbki. Analiza tych obserwacji wykazuje wzajemną zależność emisji radiowej i rentgenowskiej w tych źródłach oraz podział ze względu na pochodzenie emisji rentgenowskiej typowy dla źródeł wielkoskalowych. To z kolei potwierdza ewolucyjny związek między tymi grupami i wskazuje możliwą drogę ewolucji. I wreszcie artykuły [P3] i [P4] opisują przypadki szczególne, źródła nietypowe i bardzo rzadkie odkryte w toku moich analiz i obserwacji. Artykuł [P3] dotyczy podwójnego kwazara FIRST J1643+3156, którego zaburzona struktura widoczna zarówno w zakresie radiowym jak i widzialnym, sugeruje silne oddziaływania obiektów pomiędzy sobą. Artykuł [P4] opisuje odkrycie gromady emitującej promieniowanie X, w centrum której znajduje się zwarty AGN. Jest to drugi tego typu obiekt znany obecnie.

### Artykuł [P1]

W pierwszej wybranej pracy [P1] przedstawiona została analiza obserwacji radiowych kilkudziesięciu zwartych źródeł radiowych typu CSS. Próbka tych obiektów została wyselekcjonowana z przeglądu FIRST (Faint Images of the Radio Sky at Twenty-cm) a następnie zaobserwowana angielską siecią radioteleskopów MERLIN na częstotliwościach 1.6 oraz 5 GHz. W wyborze próbki szczególnie ważne było założenie granicznej dzielności promieniowania radiowego obiektów, a nie gęstości strumienia radiowego. Kryterium to wynosiło  $L_{1.4\text{GHz}} < 10^{26.5} \text{ W Hz}^{-1}$ , a więc wartość mniejszą niż mają znane do tej pory obiekty tej klasy, co było nowatorskim podejściem<sup>2</sup>. Wybrane obiekty nazwałam „*Low Luminosity Compact (LLC) objects*” i tej nazwy będę używać w dalszym opisie. W publikacji szczegółowo omówione zostały wszystkie kryteria selekcji, a następnie proces redukcji danych radiowych, który początkowo przebiegał w obserwatorium Jodrell Bank a następnie w Centrum Astronomii UMK. Do redukcji użyto standardowego pakietu Astronomical Image Processing System (AIPS). W efekcie powstały mapy radiowe dla 44 obiektów LLC na 1.6 i 5 GHz, jednak tylko te przedstawiające rozdzielone (niepunktowe) struktury radiowe zostały opublikowane w pracy [P1]. Dodatkowo mapy te zawierają informacje na temat polaryzacji promieniowania na danej częstotliwości. Oprócz tego dla całej próbki wykonane zostały pomiary strumieni poszczególnych komponentów struktur radiowych oraz całkowitych rozmiarów liniowych. To pozwoliło w dalszej kolejności na analizę zmierzonych wielkości w kontekście ewolucji radiowo-głośnych AGN-ów.

Obserwacje źródeł LLC ujawniły wiele rodzajów struktur radiowych. Duży odsetek (~ 86%) obiektów z widocznym jądrem radiowym cechuje się różnicą w jasności płatów znajdujących się po obu jego stronach. Ten sam rezultat został poprzednio znaleziony dla silnych źródeł CSS badanych przez Saikia i in. (2001). Wynika to prawdopodobnie z faktu, że struktura radiowa młodego źródła całkowicie zawiera się w granicach galaktyki macierzystej zatem jego dżety w trakcie propagacji muszą zmagać się z ośrodkiem międzygwiazdowym (Labiano 2008, Holt i in. 2009, Kawakatu i in. 2009, Chandola i in. 2013). Jeśli ośrodek ten jest niejednorodny może zakłócać strukturę radiową w różny sposób po obu stronach jądra. Taka zaburzona struktura może przetrwać przez kolejne etapy ewolucji. Najbardziej skrajne przypadki zakłóconych dużych struktur radiowych należą do tzw.

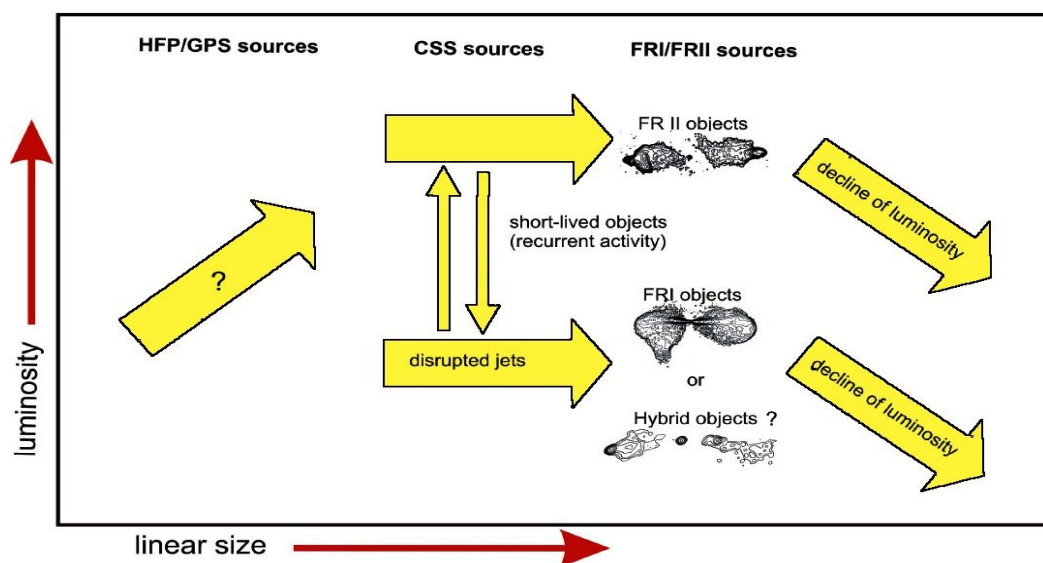
---

2 Parametry kosmologiczne przyjęte w moich pracach wynoszą:  $H_0=71 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ ,  $\Omega_M=0.27$ ,  $\Omega_\Lambda=0.73$ .

hybryd (HYbrid MOrphology Radio Sources: HYMORS), w badanie których również byłam zaangażowana. Jest to rzadka klasa obiektów, w których każdy z dwóch płatów radiowych wyraźnie wykazuje różną morfologię FR (Gopal-Krishna & Wiita 2000; Gawroński i in. 2006). Ostatnie obserwacje radiowe wysokiej rozdzielczości obiektów HYMORS wykazały, że ich struktury w skali parseka są podobne do struktur źródeł FR II. Oznacza to, że zakłócona struktura radiowa jaką obserwujemy musi powstawać na większych, prawdopodobnie kiloparsekowych odległościach (Cegłowski i in. 2013), czyli tam gdzie dżety młodego AGN-u próbują wydostać się z galaktyki macierzystej.

Kolejną cechą charakterystyczną źródeł LLC jest fakt, że około 30% z nich ma słabą rozległą emisję radiową oraz wręcz rozpadające się struktury radiowe. W niektórych przypadkach widać również słabą emisję jądra, która mimo wszystko stanowi znaczny procent całkowitego strumienia źródła ([P1]; Kunert-Bajraszewska, 2016). Oszacowana dla tych źródeł średnia wartość „parametru dominacji jądra” (stosunek gęstości strumienia jądra do całkowitej gęstości strumienia źródła) wynosi 23% i jest większa od wartości oszacowanej dla źródeł FRI i FR II (2-4%; Morganti i in. 1993), a także silnych CSS-ów (<10%; Saikia i in. 2001). Jest z kolei zgodna z wartością oszacowaną dla tzw. źródeł FR0 (>10%, Baldi i in. 2015), wśród których wiele może być obiektów zwartych typu CSS i GPS (Sadler i in. 2014). Obiekty FR0, podobnie do niektórych źródeł LLC, nie są w stanie z jakiegoś powodu rozwinąć silnych rozległych struktur radiowych. Jak dyskutuję w pracy [P1] różne mechanizmy i oddziaływania mogą odgrywać tutaj ważną rolę. Mogą to być wspomniane już oddziaływania dżetów z ośrodkiem międzygwiazdowym, ale także różnice we właściwościach tzw. centralnego silnika: spinu czarnej dziury lub modu akrecji. Konsekwencją tego drugiego czynnika może być produkcja słabszych dżetów, które są bardziej podatne na niestabilności i zakłócenia.

**Podsumowaniem przeprowadzonych analiz obserwacji radiowych było zaproponowanie modyfikacji modelu ewolucyjnego radiowo-głośnych AGN-ów (Rysunek 2). Twierdzą, że niektóre obiekty LLC wygasną już na obecnym etapie ewolucji, i takie źródła nazwałam „obiektami krótko-żyjącymi” (ang. short-lived objects). Co więcej, takie krótkie epizody aktywności radiowej mogą się zdarzyć wiele razy zanim radioźródła będą w stanie uciec z galaktyki macierzystej i wyewoluować do rozmiarów wielkoskalowych źródeł FRI lub FR II. Analiza właściwości radiowych źródeł LLC przedstawiona w pracy [P1] oraz analiza ich właściwości spektroskopowych (praca [P2]) wskazuje, że większość źródeł LLC będzie ewoluować ostatecznie do źródeł FR II. Sugeruję jednak, że istnieje znacznie większa populacja krótko-żyjących zwartych obiektów, które do tej pory nie zostały zbadane. Wśród nich należy prawdopodobnie szukać prekursorów źródeł FRI .**



Rysunek 2. Schemat ewolucji radiowo-głośnych AGN-ów zaproponowany w pracy [P1].

## Artykuł [P2]

Wspomniana już praca [P2] stanowi kontynuację badań wybranej próbki zwartych obiektów LLC. Tym razem przeanalizowane zostały własności źródeł w zakresie widzialnym widma elektromagnetycznego dostępne w przeglądzie Sloan Digital Sky Survey (SDSS). Analiza dotyczyła m.in. morfologii tych obiektów w zakresie widzialnym. Jednak jej głównym celem były pomiary jasności linii emisyjnych widocznych w widmie, które zostały wykonane odpowiednim automatycznym programem z przeglądu SDSS. Niestety program ten niezbyt dobrze radzi sobie z dopasowywaniem linii wieloskładnikowych, takich jak np. dublet  $H\alpha+[NII]$ , lub linii z wąskimi i szerokimi składnikami. W takich przypadkach dopasowania były wykonywane „ręcznie” przy użyciu programów TOPCAT oraz SPLOT z pakietu Image Reduction and Analysis Facility (IRAF). Dokonana również została korekcja pomiarów na ekstynkcje galaktyczną. Zmierzone wartości linii emisyjnych zebrane zostały w tabelach w artykule [P2]. Dodatkowo dla potrzeb dalszych analiz przedstawionych w pracy [P2] takie same pomiary wykonane zostały dla pozostałych znanych próbek zwartych źródeł CSS i GPS autorstwa Fanti i in. (2001) oraz Marecki i in. (2003). Te pomiary umieszczone zostały w dodatku A do artykułu [P2].

Wykonanie wyżej opisanych pomiarów umożliwiło spektroskopową klasyfikację źródeł ze wspomnianych próbek na obiekty o wysokim i niskim wzbudzeniu (ang. High and Low Excitation Galaxies: HEG and LEG) gazu znajdującego się w najbliższym otoczeniu aktywnego jądra. I tak w AGN-ach określanych jako LEG linia tlenu  $[OIII]\lambda 5007$  ma małą jasność w porównaniu z jasnością linii wodorowych. Natomiast obiekty klasyfikuje się jako HEG, gdy  $\log([OIII]\lambda 5007/H\beta) \geq 0,75$ . Ponieważ taka klasyfikacja została już wcześniej zastosowana dla źródeł wielkoskalowych FRI i FRII (Buttiglione i in. 2010), pozwoliło to dokonać dalszych porównań i analiz w szerszej skali populacyjnej w artykule [P2].

Przeprowadzone analizy wykazały, że w zakresie tego samego rozmiaru liniowego i radiowej jasności, obiekty HEG są 10 razy jaśniejsze w linii  $[OIII]\lambda 5007$ , niż źródła LEG. Graniczna wartość jasności w linii  $[OIII]\lambda 5007$  w populacji badanych źródeł LLC wynosi:  $L_{[OIII]} = 10^{41.1}$  erg s<sup>-1</sup>. Źródła, w których linia  $[OIII]\lambda 5007$  ma większą jasność zostały sklasyfikowane jako HEG, pozostałe jako LEG. Ponadto zauważam, że wszystkie źródła LLC, w widmach których występują również szerokie linie emisyjne są typu HEG. Są one równocześnie najjaśniejszymi obiektami w mojej próbce.

Z obserwacji źródeł wielkoskalowych wiemy już od jakiegoś czasu, że istnieje korelacja między jasnością radiową obiektu a jasnością tego obiektu w liniach emisyjnych (Baum & Heckman 1989, Willott i in. 1999), co wskazuje na wspólne źródło energii w przypadku obu tych zjawisk. Zarówno jasność radiowa jak i jasności linii emisyjnych radiogalaktyk zależą przede wszystkim od własności ich centralnych źródeł energii (czarna dziura + dysk akrecyjny). Natomiast duży rozrzut tej korelacji sugeruje występowanie dodatkowego czynnika, który pełni prawdopodobnie drugoplanową rolę. Jest to środowisko międzygwiazdowe. W toku dalszej analizy porównałam jasność źródeł radiowych w linii  $[OIII]\lambda 5007$  z ich mocą radiową oraz sprawdziłam raportowaną przez Labiano (2008) zależność „jasność  $[OIII]\lambda 5007$  - rozmiar liniowy” dla wszystkich dostępnych mi populacji obiektów: silnych CSS i GPS, wielkoskalowych FRI i FRII oraz dodając nowe źródła LLC. Z porównań tych wynika, że korelacja „jasność  $[OIII]\lambda 5007$  – moc radiowa” zachowana jest również dla obiektów LLC z mojej próbki. Natomiast korelacja pomiędzy jasnością w linii  $[OIII]\lambda 5007$  a rozmiarem liniowym dla silnych zwartych obiektów CSS i GPS (która de facto opisuje zmianę jasności w linii  $[OIII]\lambda 5007$  wraz z wiekiem radioźródła) znika, gdy na wykresie uwzględnić obiekty typu LEG z próbki źródeł LLC. Według pracy Labiano (2008) oddziaływanie młodych AGN-ów z ośrodkiem międzygwiazdowym wzbudza oraz wzmacnia emisję linii  $[OIII]\lambda 5007$ . Jednak gdy tylko radioźródło opuści galaktykę macierzystą jasność ta spada przynajmniej dla części źródeł wielkoskalowych. Moje nowe obserwacje pokazały, że wspomniany scenariusz nie jest prawdziwy dla wszystkich młodych AGN-ów. A mianowicie te sklasyfikowane jako LEG tak silnej emisji w linii  $[OIII]\lambda 5007$  nie wykazują co może być spowodowane tym, że ich słabsze dzęty w mniejszym stopniu przyczyniają się do jonizacji ośrodka.

Podobne wnioski płyną z diagramów diagnostycznych linii emisyjnych, tzw. diagramów BPT (za Baldwin, Philips i Terlevich 1981), które wykonane zostały dla moich obiektów. Wyższy parametr jonizacji charakterystyczny jest dla źródeł HEG i oznacza silniejsze fale uderzeniowe powstałe w środowisku międzygwiazdowym najprawdopodobniej na skutek oddziaływań z dżetami radiowymi. Natomiast słabe fale uderzeniowe występują w obiektach LEG.

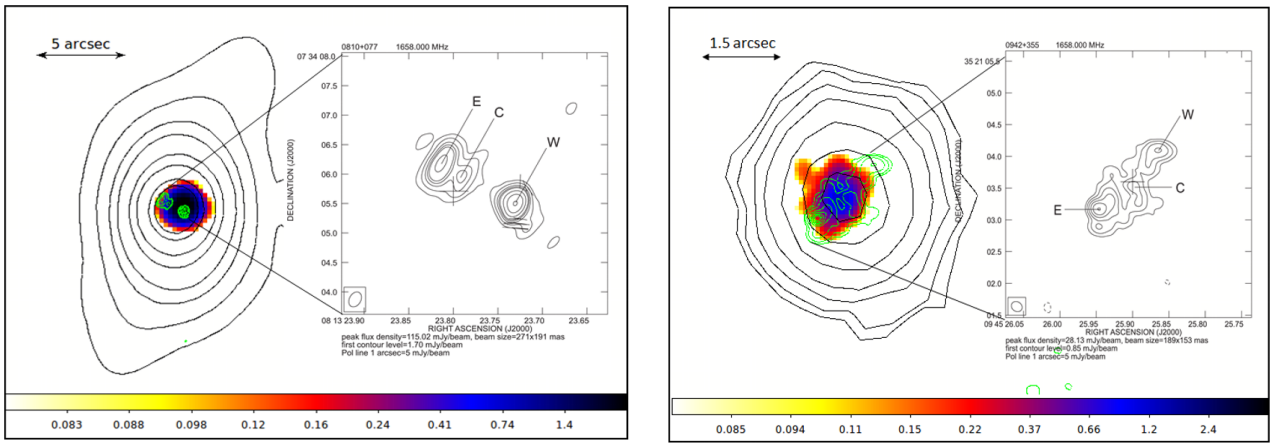
Badania korelacji „jasność [OIII] $\lambda$ 5007 – moc radiowa” przyniosły jeszcze jeden bardzo ważny rezultat. Jak pokazuję w pracy [P2], gdy dokonamy podziału źródeł we wszystkich populacjach na typy HEG i LEG, ulegają one separacji zajmując oddzielne miejsce na wspomnianym wykresie. W konsekwencji obserwujemy dwie ścieżki ewolucyjne w populacji radiowo-głośnych AGN-ów, oddzielne dla źródeł typu HEG i LEG, a mianowicie: GPS<sub>LEG</sub> → CSS<sub>LEG</sub> → FRI/FRII<sub>LEG</sub> oraz GPS<sub>HEG</sub> → CSS<sub>HEG</sub> → FRII<sub>HEG</sub>. Sugeruję, że to właśnie głównie krótko-żyjące młode AGN-y będą ostatecznie ewoluować do słabszych radiowo źródeł FRI, które w zdecydowanej większości należą do typu LEG.

**Reasumując. W pracach [P1] oraz [P2] pokazuję, że ścieżka ewolucyjna radiowo-głośnych AGN-ów nie jest tylko konsekwencją rozrastania się rozmiarów źródła i nie jest tylko jedna. W rzeczywistości jest ona bardzo zindywidualizowana, jednak statystycznie możemy mówić o dwóch populacjach obiektów: dynamicznie ewoluujących radioźródłach HEG, oraz słabo rozwijających się obiektach typu LEG (Rysunek 1). Wybór ścieżki ewolucyjnej dokonuje się już na bardzo wczesnym etapie rozwoju radioźródła i choć do końca nie wiemy jak to się dzieje można wymienić czynniki, które na ten wybór wpływają. Jest to szeroko rozumiana moc AGN-u, a więc mod akrecji, spin czarnej dziury czy zaproponowany ostatnio przez Czerny i in. (2009) proces niestabilności w dysku akrecyjnym, oraz zmaganie się młodego radioźródła z gęstym, niejednorodnym ośrodkiem galaktycznym. Taki ośrodek bowiem może skutecznie ograniczyć rozwój młodego, słabego obiektu. A można się temu przyjrzeć niejako bezpośrednio m.in. obserwując te obiekty w zakresie rentgenowskim. Takie właśnie obserwacje i ich analizy przedstawiłam dla naszej próbki źródeł LLC w pracy [P5].**

#### Artykuł [P5]

Ogromna konkurencja wśród wniosków obserwacyjnych na teleskop rentgenowski Chandra oraz ograniczony czas obserwacyjny wymusza pragmatyczne podejście w stosunku do tych obserwacji. Mój wniosek obserwacyjny nie zawierał więc całej próbki źródeł LLC, a tylko 7 wybranych obiektów, których cechy optyczne i radiowe dobrze reprezentowały różnorodność grupy. Nazwałam te obiekty próbką pilotażową. Ostatecznie wniosek został rozpatrzony pozytywnie a każdy z proponowanych obiektów był obserwowany detektorem Chandra ACIS-S3 przez 10 ksec. Następnie dane zostały zredukowane pakietem CIAO 4.5. W artykule [P5] podane są najważniejsze dane obserwacyjne czyli ilość zliczeń, strumienie w zakresie 0.5 – 2 keV oraz 2 – 10 keV oraz gęstość kolumnowa  $N_H$ . Dla czterech z siedmiu obiektów udało się uzyskać detekcję, dla pozostałych wyznaczono jedynie górne limity na strumień w zakresie promieniowania X. Jedno ze źródeł, 1321+045, zostało odkryte jako obiekt znajdujący się w centrum dużej gromady emitującej w zakresie promieniowania rentgenowskiego i opisane jest w osobnej pracy [P4]. Dla dwóch spośród tych siedmiu obiektów z największą ilością zliczeń wykonałam mapy emisji rentgenowskiej z nałożonymi na nią konturami promieniowania radiowego. Całość „zanurzona” jest w emisji w zakresie widzialnym galaktyki macierzystej co przedstawia Rysunek 3. Mapy te bardzo dobrze obrazują skalę promieniowania w poszczególnych zakresach widma elektromagnetycznego oraz pozwalają uświadomić sobie drogę ewolucyjną jaką jeszcze muszą przebyć młode AGN-y, aby wydostać się z gęstego ośrodka międzygwiazdowego.

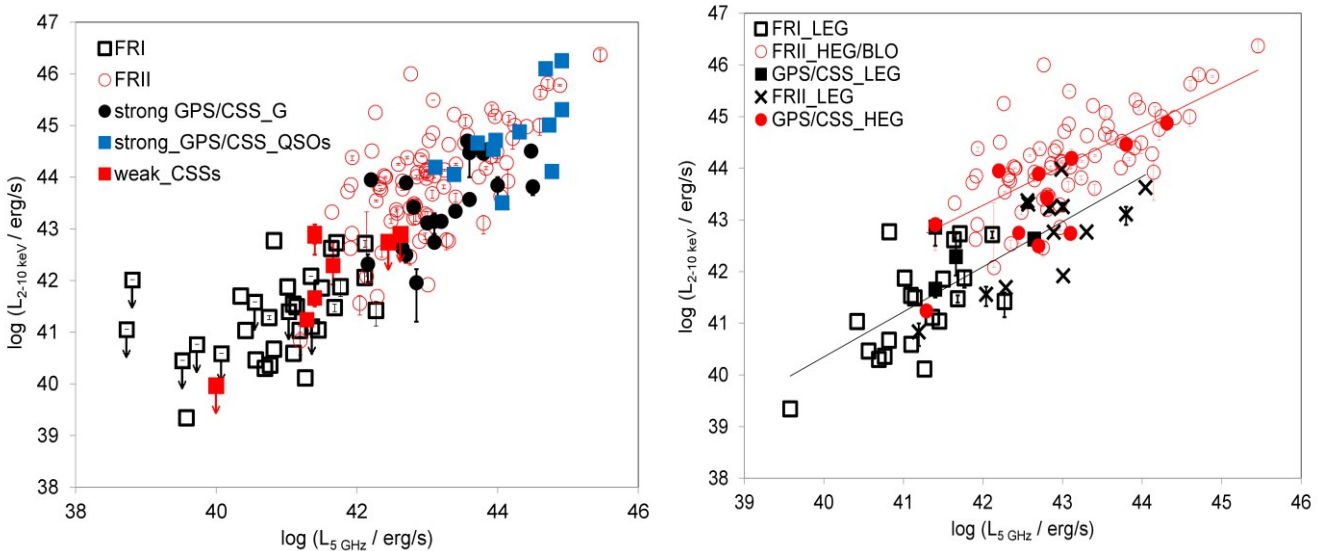
Celem opisanych obserwacji było poznanie własności rentgenowskich młodych słabych radiowo AGN-ów, które do tej pory nie były jeszcze obserwowane w tym zakresie widma elektromagnetycznego. Interesowało mnie także zbadanie zależności pomiędzy cechami radiowymi, właściwościami promieniowania X oraz modami wzbudzenia HEG i LEG dla różnych grup obiektów radiowych: GPS, CSS i wielkoskalowych FRI i FRII. W tym celu zbudowałam próbkę kontrolną: silnych źródeł GPS i CSS (Siemiginowska i in. 2008, Tengstrand i in. 2009, Massaro i in.



Rysunek 3. Emisja w zakresie rentgenowskim (kolor), radiowym (zielone kontury) oraz widzialnym (czarne kontury) dwóch obiektów z próbki LLC: 0810+077 (lewy) oraz 0942+355 (prawy). Krzyżyk pokazuje pozycję optycznego odpowiednika z przeglądu SDSS. Oznaczenia na mapie radiowej wskazują: C – jądro radiowe, E,W – płaty radiowe. Mapy pochodzą z pracy [P5] oraz Kunert-Bajraszewska (2016).

2010, Massaro i in. 2012) oraz obiektów FRI i FRII sięgając do literatury (Sambruna i in. 1999, Donato i in. 2004, Grandi i in. 2006, Evans i in. 2006, Balmaverde i in. 2006, Belsole i in. 2006, Hardcastle i in. 2006, Massaro i in. 2010, Massaro i in. 2012).

Porównując jasność rentgenowską AGN-ów ze wszystkich wyżej wymienionych grup z ich właściwościami radiowymi widzimy, że **wielkoskalowe źródła FRII oraz silne zwarte obiekty CSS i GPS cechuje duża jasność w obu tych zakresach. Natomiast słabe radiowo CSS-y znajdują się na Rysunku 4 wśród źródeł FRI. Gdy zrezygnujemy z tradycyjnego podziału radiowo-głośnych AGN-ów a wprowadzimy podział ze względu na mod wzbudzenia zauważamy, że źródła HEG i LEG zajmują oddzielne obszary na wykresie „jasność radiowa – jasność X” niezależnie od wieku. Przy czym źródła HEG są jaśniejsze niż LEG zarówno w zakresie radiowym jak i rentgenowskim (Rysunek 4).**



Rysunek 4. Wykres zależności promieniowania X i jasności radiowej radioźródeł [P5]. Lewy panel przedstawia tradycyjny podział populacyjny obiektów radiowych, natomiast prawy panel pokazuje zależność dla podziału na mody wzbudzenia HEG i LEG. Siedem obserwowanych przeze mnie obiektów LLC zostało oznaczonych czerwonymi kwadratami (weak\_CSSs).



Kolejnym testem modeli ewolucyjnych AGN-ów jest porównanie stosunku ich jasności w zakresie radiowym do jasności w zakresie rentgenowskim z ich rozmiarem liniowym, a więc pośrednio z wiekiem (zwane zależnością „R/X – rozmiar liniowy”). Jeśli emisja rentgenowska w AGN-ach powstaje tylko w wyniku procesu akrecji wówczas ich ewolucja w zakresie radiowym i rentgenowskim powinna być niezależna. Oznacza to, że zmiana stosunku R/X wraz ze wzrostem rozmiaru liniowego źródła powinna odtworzyć zależność „moc radiowa – rozmiar źródła”. Wyniki takich porównań opisane w artykule [P5] pokazują, że tak nie jest zarówno w grupie źródeł wielkoskalowych FRI i FR II, jak i wśród zwartych obiektów CSS i GPS. Wyraźnie widać, że słabsze radiowo źródła FRI mają większy stosunek R/X niż wiele obiektów FR II co może oznaczać większy spadek jasności rentgenowskiej wraz ze spadkiem mocy radiowej w obiektach FRI niż FR II. To z kolei jest w zgodzie z wcześniej postulowanym różnym pochodzeniem emisji rentgenowskiej w tych źródłach: z podstawy relatywistycznego dżetu (FRI; Evans i in. 2006) oraz z dysku akrecyjnego (FR II; Sambruna i in. 2004). **Pokazuję, że taki sam podział ma również miejsce w przypadku młodych AGN-ów, co potwierdza ewolucyjny związek między tymi grupami. Wyniki sugerują, że poniżej pewnego poziomu mocy radiowej młode, zwarte AGN-y zaczynają przypominać źródła FRI.**

**Ponadto w artykule [P5] zauważam również, że zwarte młode źródła GPS (<1 kpc) cechuje większa gęstość kolumnowa niż bardziej rozległe obiekty CSS (<15 kpc). Może to bezpośrednio pokazywać jak wraz z rozmiarem źródła zmienia się gęstość środowiska, w którym obiekty się propagują.**

#### Artykuł [P4]

Jak zostało wspomniane wcześniej jeden z siedmiu obiektów LLC obserwowany teleskopem Chandra znajduje się w centrum gromady galaktyk z gwiazdozbioru Panny, MaxBCG J201.08197+04.31863 (Koester i in. 2007) i został opisany oddzielnie w artykule [P4]. Moje obserwacje rentgenowskie pokazały, że gromada ta jest również bardzo jasna w zakresie X,  $L_{(0.5-2 \text{ keV})} = 3 \times 10^{44} \text{ erg s}^{-1}$ , a średnia temperatura gazu oraz jego masa wynoszą odpowiednio  $kT \approx 4.4 \text{ keV}$  i  $1.5 \times 10^{14} M_{\text{Sun}}$ . **Jest to druga odkryta gromada emitująca promieniowanie X, w centrum której znajduje się źródło typu CSS. Ale jednocześnie pierwsza, której centralne źródło to słaby obiekt radiowy o niskim modzie wzbudzenia LEG (Rysunek 1, źródło otoczone jest czerwonym kółkiem).** Do chwili odkrycia przeze mnie tej gromady jedynym znanym młodym AGN-em znajdującym się w centrum gromady X był kwazar CSS 3C186 odkryty przez Siemiginowską i in. (2005, 2010). Jest to silne źródło radiowe o dosyć dużym przesunięciu ku czerwieni  $z=1.06$  z wyraźnym, silnym dżetem radiowym oraz silnym jądrem. Według szacunków autorów, dżet tego obiektu jest na tyle silny, że bez problemu poradzi sobie z wydostaniem się z gęstego środowiska galaktyki macierzystej i będzie rozwijać się do wielkoskalowych rozmiarów. W przypadku nowo-odkrytej przeze mnie gromady, jej centralne źródło radiowe 1321+045 jest przeciwieństwem kwazara 3C186.

Obiekt 1321+045 to galaktyka typu LEG, której jasność radiowa,  $L_{5\text{GHz}} \sim 10^{25} \text{ W Hz}^{-1}$  ( $< 10^{42} \text{ erg s}^{-1}$ ), plasuje ją w obszarze przejściowym pomiędzy źródłami FRI i FR II. Pozycja centralnego składnika widocznego na mapie radiowej 1.6 GHz jest dobrze skorelowana z pozycją optycznego odpowiednika, co pozwala zinterpretować go jako jądro radiowe. Mimo, że jest to generalnie słaby pod względem jasności składnik, jest on równocześnie najjaśniejszym składnikiem tego źródła. Widoczna po obu stronach rozległa emisja jest bardzo słaba i tworzy nieregularne płyty bez widocznych gorących plam. Analiza jasności linii emisyjnych widocznych w optycznym zakresie widma elektromagnetycznego (m.in. diagramy BPT) sugeruje brak fal uderzeniowych materii powstałych na skutek oddziaływań dżetów radiowych z ośrodkiem międzygwiazdowym lub ewentualnie ich znikomy wkład do jonizacji optycznie emitującego gazu. Również na mapach radiowych trudno zidentyfikować radiowe dżety w postaci zwartych składników.

Sama emisja rentgenowska widoczna na mapach w obszarze źródła oraz poza nim, nie wykazuje żadnych niejednorodności, nieciągłości czy tzw. pustek, które mogłyby świadczyć o silnych oddziaływaniach radiowego źródła ze wspomnianym już ośrodkiem międzygwiazdowym

oraz międzygalaktycznym. Również emisja radiowa w szerszej skali, widoczna na wykonanych przeze mnie mapach obiektu 1321+045 na częstotliwości 74 MHz (przeгляд VLSS) pokazuje jednorodną emisję. Widmo promieniowania synchrotronowego tego obiektu jest strome z indeksem w zakresie od 74 MHz do 5 GHz równym  $\alpha = 0.95$ , a szacowany na tej podstawie wiek synchrotronowy to co najmniej  $10^5$  lat.

W dalszym toku analizy źródła starałam się oszacować (wykonując proste modelowanie widma synchrotronowego, bo tylko na to pozwoliła mi skąpa ilość danych obserwacyjnych) ciśnienie magnetyczne w płatach radiowych obiektu oraz ciśnienie termiczne gorącego gazu znajdującego się w gromadzie. **Wyniki pokazują, że centralne źródło radiowe jest tak słabe, że ciśnienie termiczne gorącego ośrodka może stać się poważną przeszkodą w dalszym rozwoju obiektu. Sądzę, że źródło to nie będzie miało szansy rozwinąć wielkoskalowej struktury, i jest obecnie w fazie wygasania.**

**Opisana powyżej analiza równoczesnych obserwacji rentgenowskich i radiowych jednego ze źródeł LLC pokazuje, że źródła sklasyfikowane jako LEG prawdopodobnie stanowią odmienną populację, której ewolucja jest bardziej skomplikowana i trudniejsza niż w przypadku silnych radiowo-głośnych AGN-ów.**

### Artykuł [P3]

Jako ostatnia omówiona zostanie praca [P3], która przedstawia wyniki analizy obserwacji uzyskanych w zakresie radiowych i widzialnym bardzo rzadkiego obiektu znalezionej wśród źródeł LLC, a mianowicie podwójnego kwazara FIRST J1643+3156.

Sądzi się, że podwójne kwazary reprezentują bardzo wczesny etap fuzji (mergera) dwóch galaktyk, który ostatecznie doprowadzi do zlania się dwóch czarnych dziur w supermasywną czarną dziurę. Większość podwójnych, a więc związanych ze sobą fizycznie obiektów, to źródła o dużych przesunięciach ku czerwieni i separacji rzędu 10-80 kpc. Według Junkkarinen i in. (2001) taka separacja podwójnych obiektów może świadczyć o tym, że doszło już między nimi do pierwszego bliskiego spotkania. W dalszym etapie oddziaływania z każdym spotkaniem odległość między nimi będzie się zmniejszać a widocznym skutkiem tych oddziaływań będzie coraz większe zniekształcenie morfologii i zaburzenie kinematyki tych systemów.

Mimo, iż proces fuzji galaktyk, a w następstwie fuzji czarnych dziur i akrecji na nie materii, uznaje się za jeden z głównych procesów prowadzących do powstania supermasywnych czarnych dziur, tylko ok. 0.1 % wszystkich kwazarów ma jednego lub więcej towarzyszy o tym samym przesunięciu ku czerwieni (Foreman i in. 2009). Większość z nich to obiekty podwójne aktywne tylko w zakresie optycznym, tzw. pary  $O^2$ . **Znane są tylko cztery systemy  $O^2R$ , w których jeden z kwazarów jest również radiowo-głośny. Jednym z tych systemów jest obserwowany przeze mnie kwazar FIRST J1643+3156.** Został on początkowo odkryty przez Brothertona i in. (1999) w obserwacjach w zakresie widzialnym. Jest to system o małej separacji (2,3", 15 kpc) i przesunięciu ku czerwieni 0.5867 (radiowo-głośny składniki) oraz 0.5862 (radiowo-cichy składnik). Radiowo-głośny składnik tej pary to zwarty AGN o stromym widmie i dość dużej jasności radiowej (Rysunek 1, niebieskie kółko), którego masa czarnej dziury szacowana jest na  $\sim 10^8 M_{\text{sun}}$  (Shen i in. 2011). Jego widmo charakteryzuje się silnymi liniami emisyjnymi (klasyfikacja jako HEG) oraz dość silną emisją rentgenowską.

W ramach obserwacji radiowych tego źródła wykonane zostały dwie mapy z interferometru MERLIN na częstotliwości 1.6 oraz 5 GHz z informacją o polaryzacji promieniowania synchrotronowego. Pozwoliły one zidentyfikować radiowe jądro, którego pozycja zgadza się idealnie z pozycją optycznego odpowiednika. Generalnie jednak struktura radiowa źródła jest złożona, a widoczne zaburzenia (głównie składnika zachodniego W) interpretuję jako wynikające z oddziaływań tych dwóch kwazarów ze sobą. Argumentem świadczącym za taką interpretacją są również obserwacje optyczne tego obiektu wykonane przez Kosmiczny Teleskop Hubble'a (Martel i in. 2005) w trzech filtrach: g, r oraz I. Użyłam tych archiwalnych danych do utworzenia mapy emisji w zakresie widzialnym systemu w pasmie I oraz nałożyłam na nią kontury emisji radiowej. Mapa w zakresie widzialnym wyraźnie pokazuje silnie zaburzoną strukturę składnika radiowo-

głośnego: duży wydłużony obszar emisji w kierunku południowym, grupę drobnych obszarów emisyjnych pomiędzy dwoma składnikami oraz łuk rozciągający się na odległość 3 kpc w kierunku zachodnim. Ten łukowaty obszar bardzo dobrze zgadza się z kształtem i kierunkiem zaburzenia widocznym w obserwacjach radiowych. **O ile mi wiadomo, w żadnej z pozostałych trzech par kwazarów  $O^2R$ , nie obserwuje się zniekształceń struktury widocznych w więcej niż jednym zakresie widma elektromagnetycznego. Układ FIRST J1643+3156 jest niezwykle i statystycznie bardzo rzadkim systemem dwóch oddziałujących ze sobą kwazarów.**

Warto również na koniec wspomnieć, że artykule [P3] przedyskutowałam kilka możliwych scenariuszy, które mogłyby wyjaśnić złożoną strukturę radiową kwazara: niestabilność dysku akrecyjnego modulowana obecnością towarzysza (Janiuk i in. 2002, Czerny i in. 2009), precesja dysku/dżetu na skutek sił pływowych wywołanych przez towarzysza, czy wreszcie zwykłe oddziaływanie dżet-ośrodek międzygwiazdowy. Niestety dostępne dane nie pozwalają jednoznacznie rozstrzygnąć pomiędzy nimi. **Sugeruję jednak, że jeśli rzeczywiście w układzie miała miejsce zmiana kierunku propagacji dżetów, wówczas część struktury radiowej, która nie jest zaopatrywana dalej w relatywistyczne cząstki wkrótce wygaśnie. Być może więc, moje obserwacje uchwyciły ten krótki moment w życiu młodego źródła, w którym równocześnie stare oraz nowe obszary emisji radiowej są widoczne.**

## 5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Przez ostatnie kilka lat byłam również bardzo mocno zaangażowana w projekt obserwacji i badań bardzo ciekawej grupy AGN-ów – kwazarów o szerokich liniach absorpcyjnych (ang. Broad Absorption Line quasars – BAL quasars).

Dżety oraz wypływy z dysku akrecyjnego to dwa główne procesy wyprowadzające materię z aktywnych galaktyk. To ważne procesy, które regulują wzrost masy czarnej dziury, efektywnie oddziałują z otaczającym galaktykę środowiskiem, a tym samym mają ogromny wpływ na ewolucję galaktyk. Dżety możemy obserwować bezpośrednio np. na mapach radiowych o wysokiej rozdzielczości kątowej. Wypływy obserwujemy pośrednio jako linie absorpcyjne w widmach kwazarów m.in. kwazarów BAL, które jednak stanowią zaledwie ok. 15% całej populacji kwazarów. Dlaczego tak jest? Mówiąc w wielkim skrócie na to właśnie pytanie starałam się odpowiedzieć realizując wspomniany projekt. Wybrane przeze mnie źródła to obiekty wyjątkowe pod tym względem, że równocześnie obserwujemy w nich oba wymienione wyżej procesy, a więc dżety radiowe i wypływy. Dodatkowo takie obiekty, z jakich względów są bardzo słabe radiowo, a więc trudne do obserwacji, i z tego też powodu takich obserwacji w światowej literaturze jest bardzo mało. Nasze obserwacje radiowe stanowią więc ważny dodatkowy materiał, który pozwolił lepiej poznać te obiekty (Cegłowski i in. 2015, Kunert-Bajraszewska i in. 2015).

Realizowany projekt polegał na analizie obserwacji radiowych nowej próbki zwartych kwazarów typu BAL. Obserwacje te zostały wykonane europejską (EVN) oraz amerykańską (VLBA) siecią radioteleskopów na kilku częstotliwościach (1.7, 5 oraz 8.4 GHz). Ponadto projekt obejmuje również analizę statystyczną dwóch dużych katalogów kwazarów BAL (Trump i in. 2006 oraz Gibson i in. 2009) w celu zbadania ich orientacji w stosunku do obserwatora. Wyniki obserwacji potwierdziły istnienie dżetów w tych obiektach, jednak okazało się, że nie są one tak wydajne jak w przypadku silnych radiowo-głośnych kwazarów. Zdecydowana większość tych obiektów ma strukturę radiową typu jądro-dżet a nachylenie całkowitego widma jest strome (Cegłowski i in. 2015). Są to typowe cechy kwazarów, a więc można wnioskować, że kwazary BAL pod względem struktury radiowej nie wyróżniają się. W dalszym etapie badań wykonane zostały porównania statystyczne cech optycznych i radiowych większej próbki kwazarów BAL. Po raz pierwszy połączyłam tu kilka metod szacowania parametrów, co dało bardzo ciekawe wyniki. Zauważyłam m.in., że wielkość obserwowanej absorpcji wydaje się zależeć od parametru głośności radiowej, a to pośrednio wskazuje na zależność od kąta widzenia. Wnioskuje zatem, że muszą zostać spełnione pewne specyficzne warunki, aby można było zaobserwować szerokie linie

absorpcyjne w kwazarach i jednym z takich warunków jest orientacja (Kunert-Bajraszewska i in. 2015). Największa absorpcja jest widoczna wtedy, gdy kąt widzenia pomiędzy osią dżetów a obserwatorem (liczony od osi dżetów) jest bardzo duży, większy niż  $\sim 50^\circ$ . Jednak nawet dla tak dużych kątów w wielu przypadkach również obserwujemy mniejszą absorpcję. Sugeruję zatem, że orientacja nie jest jedynym czynnikiem wpływającym na widoczność szerokich linii absorpcyjnych w widmie. Moim zdaniem muszą istnieć inne, dodatkowe czynniki i są one najprawdopodobniej związane z własnościami czarnej dziury i procesem akrecji.

Zagadka kwazarów BAL nie jest do końca wyjaśniona, i wnioski z naszych badań wskazują na możliwości i kierunki, w których kolejne badania mogłyby pójść. Dalszego intensywnego badania wymaga cała populacja bardzo słabych radiowo obiektów, wśród których kwazary BAL stanowią znaczny procent.

Opisany powyżej projekt, finansowany przez Narodowe Centrum Nauki, realizowany był przeze mnie głównie we współpracy z moimi doktorantami M. Cegłowskim i C. Roskowiński i zaowocował kilkoma publikacjami oraz doniesieniami konferencyjnymi. Wyniki projektu były także prezentowane na wielu konferencjach i są podstawą rozprawy doktorskiej mgr Macieja Cegłowskiego pt. *"To understand the complex nature of BAL quasars: new high resolution radio observations"*.

## 6. Plany na przyszłość

Projekty badawcze, w które już obecnie jestem zaangażowana dotyczą badań nad obszerną klasą aktywnych galaktyk i chciałabym je kontynuować przez najbliższe kilka lat. Nowe możliwości obserwacyjne stwarza projekt LOFAR oraz fakt wejścia Polski do tego konsorcjum. Jako członek panelu naukowego zajmującego się przeglądami nieba oraz obserwacją najbliższych nam galaktyk i kwazarów (Nearby AGN Group, lider: R. Morganti) mam bezpośredni wpływ na kształtowanie wniosków obserwacyjnych i dobór obiektów a później dostęp do danych. Kilka artykułów prezentujących wyniki pierwszych udanych obserwacji wykonanych instrumentem LOFAR z moim udziałem już się ukazało (np. Shulevski i in. 2015). Mam nadzieję, że wkrótce również ukaże się pierwsza praca na podstawie danych LOFAR-owych, którą przygotowuję wraz z mgr Carole Roskowiński, studentką z Francji, która pod moim kierunkiem przygotowała pracę magisterską i aktualnie rozpoczęła studia doktoranckie na UMK.

Ponadto moje zainteresowania w dalszym ciągu koncentrują się na młodych zwartych AGN-ach, wynikiem czego jest nowy międzynarodowy projekt obserwacyjny identyfikacji obiektów, które dopiero w ciągu ostatnich kilku lat pojaśniały i ujawniły się jako radiowo-głośne AGN-y (ang. radio transients). Sądzymy, że są one doskonałymi przykładami obiektów krótko-żyjących, których istnienie przewidzieliśmy a których dopiero niewielką część udało nam się do tej pory zidentyfikować w poprzednich badaniach opisanych w punkcie 4. We współpracy z Dr. Kunalem Mooley'em (University of Oxford), Dr. Stephanie LaMassa (Yale University) oraz prof. Anetą Siemiginowską (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics) rozpoczęliśmy szeroką kampanię obserwacyjną tych obiektów z udziałem międzynarodowych sieci radioteleskopów JVLA oraz VLBA, a także teleskopów Chandra i XMM-Newton. Większość naszych wniosków obserwacyjnych została już zaakceptowana przez międzynarodowe gremia recenzenckie. Dysponujemy już danymi z monitoringu JVLA oraz danymi optycznymi z teleskopu KeckII. Nasz wniosek obserwacyjny na amerykańską sieć radioteleskopów VLBA został również zaakceptowany, a obserwacje zostaną wykonane w 2016 roku. I wreszcie, przyznano nam czas obserwacyjny na teleskop rentgenowski XMM-Newton. Te obserwacje również zostaną wykonane w 2016 roku.

## LITERATURA

- Alexander, P. 2000, MNRAS, 319, 8
- Baldi, R. D., Capetti, A., Giovannini, G. 2015, A&A, 576, 38
- Baldwin, J. A., Phillips, M. M., Terlevich, R. 1981, PASP, 93, 5
- Balmaverde, B., Capetti, A., & Grandi, P. 2006, A&A, 451, 35
- Baum, S.A. & Heckman, T. 1989, ApJ, 336, 681
- Belsole, E., Worrall, D. M., & Hardcastle, M. J. 2006, MNRAS, 366, 339
- Best, F. N., Heckman, T. M. 2012, MNRAS, 421, 1569
- Brotherton, M.S., i in. 1999, ApJ, 514, L61
- Buttiglione S., i in. 2009, A&A, 509, 6
- Cegłowski, M., Gawroński, M. P., Kunert-Bajraszewska, M. 2013, A&A, 557, 75
- Cegłowski, M., Kunert-Bajraszewska, M., Roskowiński, C. 2015, MNRAS, 450, 1123
- Chandola, Y., Gupta, N., Saikia, D. J. 2013, MNRAS, 429, 2380
- Czerny, B., Siemiginowska, A., Janiuk, A., i in. 2009, ApJ, 698, 840
- Donato, D., Sambruna, R. M., & Gliozzi, M. 2004, ApJ, 617, 915
- Evans, D. A., Worrall, D. M., Hardcastle, M. J., i in. 2006, ApJ, 642, 96
- Fanaroff, B.L., & Riley, J.M, 1974, MNRAS, 167, 31
- Fanti, C., Fanti, R., Dallacasa, D. i in. 1995, A&A, 302, 317
- Fanti, C., Pozzi, F., & Dallacasa, D., i in. 2001, A&A, 369, 380
- Foreman, G., Volonteri, M., Dotti, M. 2009, ApJ, 693, 1554
- Gawroński, M.P., Marecki, A., Kunert-Bajraszewska, M. & Kus, A.J. 2006, A&A, 447, 63
- Gibson, R. R. i in. 2009, ApJ, 692, 758
- Gopal-Krishna, & Wiita, P.J. 2000, A&A, 363, 507
- Grandi, P., Malaguti, G., & Fiocchi, M. 2006, ApJ, 642, 113
- Hardcastle, M. J., Evans, D. A., & Croston, J. H. 2006, MNRAS, 370, 1893
- Holt, J., Tadhunter, C.N., & Morganti, R. 2006, AN, 327, 147
- Jamrozy, M., Konar, C., Machalski, J., Saikia, D. J. 2008, MNRAS, 385, 1286
- Janiuk, A., Czerny, B., Siemiginowska, A. 2002, ApJ, 576, 908
- Junkkarinen, V., i in. 2001, ApJ, 549, L155
- Kawakatu, N, Kino, M., Nagai, H. 2009, ApJ, 697, 173L
- Koester, B.P., McKay, T.A., Annis, J., i in. 2007, ApJ, 660, 239
- Kunert-Bajraszewska, M.; Marecki, A.; Thomasson, P. 2006, A&A, 450, 945
- Kunert-Bajraszewska, M.,Gawroński, M.P., Labiano, A., i in. 2010, MNRAS, 408, 2261
- Kunert-Bajraszewska, M. & Labiano, A. 2010, MNRAS, 408, 2279
- Kunert-Bajraszewska, M. & Janiuk, A. 2011, ApJ, 736, 125
- Kunert-Bajraszewska, M., Siemiginowska, A., Labiano, A. 2013, ApJ, 772, L7
- Kunert-Bajraszewska, M., Labiano, A., Siemiginowska, A., i in. 2014, MNRAS, 437, 3063
- Kunert-Bajraszewska, M., Cegłowski, M., Katarzyński, K., i in. 2015, A&A, 579, 109
- Kunert-Bajraszewska, M. 2016, AN, w druku
- Labiano, A. 2008, A&A, 488, 59
- Laing, R.A., Riley, J.M., & Longair, M.S. 1983, MNRAS, 204, 151
- Macchetto, F., i in. 1997, ApJ, 489, 579
- Marecki, A., Spencer, R.E., & Kunert, M. 2003, PASA, 20, 46
- Martel, A. R. and ACS Science Team, 2005, AAS, 20711607
- Massaro, F., i in. 2010, ApJ, 714, 589
- Massaro, F., i in. 2012, ApJSS, 203, 31
- Morganti, R., Killeen, N. E. B., Tadhunter, C. N. 1993, MNRAS, 263, 1023
- Morganti, R., Tadhunter, C. N., Dickson, R., Shaw, M. 1997, A&A, 326, 130
- O'Dea, C.P., & Baum, S.A. 1997, AJ, 113, 148
- Owsianik, I. & Conway, J.E. 1998, A&A, 337, 69
- Readhead, A.C.S., Taylor, G.B., Xu, W., i in. 1996, ApJ, 460, 612

Sadler, E. M., Ekers, R. D., Mahony, E. K., Mauch, T., Murphy, T. 2014, MNRAS, 438, 796  
Saikia, D.J., Jeyakumar, S., Salter, C.J., i in. 2001, MNRAS, 321, 37  
Sambruna, R. M., Gambill, J. K., & Maraschi, L. i in. 2004, ApJ, 608, 698  
Shen, Y., i in. 2011, ApJS, 194, 45  
Shulevski, A., Morganti, R., Barthel, P.D. i in. 2015, A&A, 579, 27  
Siemiginowska, A., Cheung, C.C., LaMassa, S. 2005, ApJ, 632, 110  
Siemiginowska, A., LaMassa, S., Aldcroft, T. L., Bechtold, J., Elvis, M. 2008, ApJ, 684, 811  
Siemiginowska, A., Burke, D. J., Aldcroft, T. L., i in. 2010, ApJ, 722, 102  
Snellen, I.A.G., Schilizzi, R.T., Miley, G.K., i in. 2000, MNRAS, 319, 445  
Tengstrand, O., Guainazzi, M., Siemiginowska, A., i in. 2009, A&A, 501, 89  
Trump, J.R. i in. 2006, ApJS, 165, 1  
Urry, C.M. & Padovani, P. 1995, PASP, 107, 803  
Willott, C. J., Rawlings, S., Blundell, K. M., & Lacy, M. 1999, MNRAS, 309, 1017

Magdalena Jurant-Bepescevska