

Podsumowanie

Pictor A, uznawana za archetypową silną radiogalaktykę typu FR II, jest nie tylko jednym z najjaśniejszych źródeł radiowych na niebie, ale również obiektem szczególnie istotnym w dziedzinie promieniowania rentgenowskiego. Co ważne, rozciąga struktura Pictor A charakteryzuje się dużym rozmiarem kątowym rzędu kilku minut łuku. Struktura ta może być więc łatwo obserwowana za pomocą nowoczesnych teleskopów rentgenowskich, w szczególności za pomocą Teleskopu kosmicznego *Chandra*. Jako taki, Pictor A jest obiektem bezsprzecznie wyróżniającym się spośród wszystkich innych radiogalaktyk. W **rozdziale 1** tej dysertacji przedstawiam obszernie wiedzę na temat źródła, jego historii oraz emisji w szerokim zakresie długości fal oraz podaję podstawowe informacje dotyczące instrumentów astronomicznych (zarówno teleskopów naziemnych, jak i satelitów kosmicznych) zdolnych do obserwacji galaktyk aktywnych i ich jąder (AGN), fenomenologii aktywnych galaktyk ogółem, czy wreszcie najbardziej fundamentalnych procesów radiacyjnych, odgrywających ważną rolę w moich badaniach.

Głównym celem moich badań naukowych, prowadzonych w ostatnich latach w kolaboracji z kilkoma współpracownikami i pod kierunkiem dra hab. Łukasza Stawarza, jak podsumowano w niniejszej dysertacji, jest wszechstronna i nowatorska ponowna analiza wszystkich dostępnych danych archiwalnych *Chandry* dla źródła Pictor A. Jedną z głównych trudności w tym względzie jest fakt, że obserwacje przy użyciu *Chandry*, rozłożone w ciągu ostatnich dziesięcioleci, koncentrowały się na różnych regionach źródła ze zróżnicowanymi ekspozycjami i różną pozycją w detektorze (“off-axis angles”). Ponadto, regiony te różnią się znacznie pod względem mocy i wyglądu promieniowania rentgenowskiego, od niezwykle jasnego i punktowego (nierozdzielonego) jądra po znacznie rozciągnięte płaty radiowe, o niskiej jasności powierzchniowej.

Mając na uwadze wspomniane powyżej trudności i wyzwania, dla każdego regionu i każdego źródła punktowego wybranego do analizy w układzie Pictor A, szczegółowo przestudiowałem otrzymaną przez teleskop *Chandra* funkcję rozproszenia punktów (PSF) oraz widmo emisyjne w zakresie 0.5–7.0 keV, przeprowadzając, jeśli to możliwe, dekonwolucję obrazu, analizę czasową i modelowanie widmowe.

W szczególności, w moich badaniach skupiłem się na następujących trzech głównych problemach badawczych: **rozdział 2**: podejście do spektroskopii rentgenowskiej aktywnego jądra w galaktyce radiowej Pictor A, przeprowadzonej w reżimie silnej saturacji detektora (“instrumental pile-up”); **rozdział 3**: badanie struktury rentgenowskiej terminalnej fali uderzeniowych relatywistycznych dżetów w Pictor A, tak zwanych “gorących plam”, za pomocą szczegółowej dekonwolucji obrazu i analiz czasowych; **rozdział 4**: badanie korelacji między promieniowaniem rentgenowskim i radiowym struktur w rozciągniętych płatach źródła.

Nasze podejście do analizy danych z teleskopu *Chandra* dla aktywnego jądra w radiogalaktyce Pictor A, przedstawione w rozdziale 2, a w szczególności do analizy spektralnej w reżimie

silnej saturacji detektora, jest alternatywą dla podejścia prezentowanego dotychczas w literaturze. W szczególności, w zamiast analizowania rozciągniętych skrzydeł centralnego PSF, jak wykonuje się to zwykle w takich przypadkach, wykorzystaliśmy zaktualizowany model pile-up, który został nowo zaimplementowany w oprogramowaniu do modelowania *Sherpa*. Istnieją różnice między wynikami naszej analizy a wynikami uzyskanymi wcześniej przez innych autorów, w szczególności w odniesieniu do nachyleń potęgowego widma ciągłego AGN-ów lub zmian natężenia w układzie. I chociaż w ramach naszego podejścia nie byliśmy w stanie całkowicie usunąć/w pełni wyjaśnić efektu saturacji detektora, niemniej przedstawiliśmy dwa główne nowatorskie wnioski wyłaniające się z naszej analizy: (i) wkład gorącej atmosfery gazowej w galaktyce macierzystej do promieniowania jądra Pictor A jest bardzo znaczący, a nawet dominujący w odległości zaledwie kilku pikseli od centrum (do ~ 30 px); w rezultacie należy zachować szczególną ostrożność analizując rozciągnięte skrzydła centralnego PSF w poszukiwaniu składnika emisji AGN wolnego od saturacji detektora; (ii) dostępne dane z teleskopu *Chandra* zezwalają formalnie na obecność bardzo szerokiej fluorescencyjnej linii żelaza w widmie jądrowym Pictor A; uważamy jednak tę niezwykle ekscytującą możliwość za raczej mało prawdopodobną, z powodu faktu, iż artefakty saturacji w detektorze (w szczególności, “migracja zliczeń” od niskich do wysokich energii fotonów) są bardziej wiarygodną przyczyną obserwowanego nadmiaru wysokoenergetycznego promieniowania rentgenowskiego w widmie układu w zakresie 0.5–7.0 keV, zebranych przez *Chandré*.

W rozdziale 3 dysertacji przedstawiam analizę morfologii promieniowania rentgenowskiego i zmienności natężenia szczególnie jasnej i rozległej terminalnej fali uderzeniowej w Pictor A, na podstawie danych uzyskanych za pomocą teleskopu *Chandra*. Fala ta wyznacza miejsce, w którym relatywistyczny dżet, pochodzący z aktywnego jądra układu, oddziałuje z ośrodkiem międzygalaktycznym w odległościach setek kiloparseków od galaktyki macierzystej, tworząc szok, który przekształca energię kinetyczną dżetu w energię wewnętrzną plazmy. Region ten jest jasny w zakresie promieniowania rentgenowskiego z powodu emisji synchrotronowej elektronów przyspieszonych do ultrarelatywistycznych energii na froncie szoku. W naszej analizie wykorzystujemy kilka obserwacji z *Chandry*, koncentrujących się na szoku na przestrzeni ostatnich dekad z różnymi ekspozycjami i “off-axis angles”. Dla każdego źródła punktowego szczególnie badamy PSF, który pozwala nam przeprowadzić dekonwolucję obrazu i rozdzielić strukturę szoku. W szczególności, obserwujemy, że najjaśniejszy segment szoku rentgenowskiego rozciąga się w kierunku prostopadłym do strumienia, formując cienką strukturę, o długości ~ 3 kpc, którą utożsamiamy z frontem wstecznym. Położenie tej struktury dobrze zgadza się z pozycją pikę natężenia optycznego gorącej plamy, lecz jest wyraźnie przesunięte w stosunku do położenia pikę natężenia radiowego, znajdującego się ~ 1 kpc dalej w dół strumienia. Ponadto, mierzymy zliczenia na obrazach po dekonwolucji, odkrywając stopniowy spadek natężenia o około 30% w czasie 15-letniego okresu monitorowania.

W rozdziale 4 rozprawy przedstawiam szczegółową analizę wyraźnych struktur emitujących promieniowanie rentgenowskie, obecnych we wschodnim płacie radiowym galaktyki Pictor A, wokół obszaru, w którym dżet kończy swój bieg, wykorzystując dane uzyskane z teleskopu *Chandra*. Do badań wybrano różne struktury emisyjne w oparciu o ich zwiększoną jasność powierzchniową promieniowania rentgenowskiego w porównaniu z otoczeniem, w tym pięć źródeł, które ukazują się jako punktowe, a także trzy rozciągnięte obszary, z których jeden charakteryzuje się morfologią włóknową. Wykonujemy dla nich podstawową analizę spektralną w zakresie 0.5–7 keV. Badamy także różne korelacje między promieniowaniem rentgenowskim i nietermiczną emisją radiową, pochodzącymi ze wspomnianych wyżej formacji, wykorzystując mapy radiowe o wysokiej rozdzielczości z Very Large Array na częstotliwościach rzędu gigahertzów. Główne nowatorskie odkrycia wypływające z naszej analizy dotyczą nowo rozpoznanego jasnego włókna rentgenowskiego, które jest zlokalizowane w dżecie, powyżej obszaru wygaszenia strumienia, rozciąga się na co najmniej trzydzieści kiloparseków (w rzucie) i jest nachylone względem osi dżetu. Dla owego włókna obserwujemy wyraźną antykorelację między jasnością powierzchniową promieniowania rentgenowskiego a spolaryzowanym natężeniem radiowym, jak również zmniejszenie radiowej miary rotacji w stosunku do otoczenia. Spekulujemy na temat natury tej struktury, w szczególności zwracając uwagę na możliwość, że jej istnienie jest związane z obecnością gorącego gazu termicznego emitującego promieniowanie rentgenowskie, tylko częściowo zmieszanego z nietermicznymi elektronami emitującymi promieniowanie radiowe/rentgenowskie wewnątrz płatów radiowych, w połączeniu z odwróceniami w polu magnetycznym źródła.

Konkludując, moje badania, podsumowane w tej dysertacji, pokazują nadzwyczajne bogactwo archiwum Teleskopu kosmicznego *Chandra*, a jednocześnie zadziwiającą złożoność fizyki stojącej za zjawiskiem galaktyk aktywnych. Wraz z moim promotorem, drem hab. Łukaszem Stawarzem, mamy szczerą nadzieję, że mój wysiłek, skierowany na opanowanie technik analizy astronomicznych danych rentgenowskich, a tym samym na lepsze zrozumienie emisji rentgenowskiej galaktyki aktywnej Pictor A, przyniesie istotny wkład we współczesną astrofizykę wysokich energii w ogólności.