

# Fluorescencyjna linia żelaza w różnych typach radiowo-głośnych galaktyk aktywnych

mgr Karthik Balasubramaniam

## Streszczenie

Aktywne jądra galaktyk (ang.: Active Galactic Nuclei — AGN), to układy zasilane przez akrecję materii na super-masywne czarne dziury. Szczególnie interesującym przejawem aktywności tego typu obiektów jest promieniowanie rentgenowskie, ponieważ może ono pochodzić z rejonów bliskich horyzontowi zdarzeń czarnej dziury, a więc nieść ze sobą informacje o intensywnym polu grawitacyjnym czarnej dziury. Promieniowanie to składa się zazwyczaj z kilku komponentów widmowych. Pierwszy z nich to fotony pierwotnie należące do optycznego lub nadfioletowego zakresu energetycznego, emitowane z dysku akrecyjnego, które w wyniku odwrotnego rozpraszania Comptona na wolnych elektronach gorącej korony dyskowej zwiększają swoją energię, formując kontinuum rentgenowskie z potężowym rozkładem jasności. Drugi z komponentów spektralnych to część tego kontinuum, która zostaje odbita oraz przetworzona przez pochłaniający gaz, znajdujący się albo na samej powierzchni dysku, albo na większych odległościach od centrum.

Przetwarzanie kontinuum obejmuje absorpcję fotoelektryczną, po której następuje emisja linii fluorescencyjnych. Spośród wszystkich linii fluorescencyjnych w zakresie rentgenowskim, najbardziej znaczącą jest linia żelaza. Związane jest to ze stosunkowo wysoką obfitością tego pierwiastka w obiektach astrofizycznych, oraz jego wysoką wydajnością fluorescencyjną (ang.: fluorescence yield). Fluorescencyjne linie żelaza, gdy tylko zostaną wytworzone w pobliżu wewnętrznych orbit dysku akrecyjnego, mogą być relatywistycznie poszerzone oraz grawitacyjnie przesunięte ku czerwieni, w zależności od struktury dysku oraz wartości spinu czarnej dziury.

W mojej pracy badawczej, której podsumowanie znajduje się poniżej, szczegółowo analizowałem emisję rentgenowską trzech radiowo-głośnych galaktyk aktywnych różnych typów, skupiając się w szczególności na występujących w nich fluorescencyjnych liniach żelaza.

Pierwszym analizowanym przeze mnie obiektem był, posiadający gigantyczną strukturę radiową, kwazar z szerokimi liniami emisyjnymi, o nazwie 4C+74.26. Poprzez modelowanie relatywistycznie poszerzonej linii żelaza, udało mi się otrzymać ograniczenia na strukturę najbardziej wewnętrznych części dysku akrecyjnego. Analizę przeprowadziłem w oparciu o bogate w fotony widmo obiektu pochodzące z satelity NuSTAR, wykorzystując model relatywistycznego odbicia z absorpcją przez ciepły, zjonizowany gaz. W szczególności, wyniki modelowania wykazały na tzw. “odcięty” (ang.: truncated) dysk akrecyjny w badanym obiekcie, tzn. dysk którego wewnętrzna granica ma promień dziesiątek (a nie kilku) promieni grawitacyjnych (przy założeniu maksymalnego spinu czarnej dziury).

Drugi obiekt, który był przedmiotem moich badań, to galaktyka aktywna typu LINER, o nazwie CGCG 292–057, powstała w wyniku niedawnego zderzenia galaktyk, i posiadająca wielokomponentową strukturę radiową, która odzwierciedla przerywaną/modulowaną aktywność centralnej czarnej dziury. W oparciu o 100 kilosekund danych pochodzących z teleskopu Chandra, w widmie obiektu wyodrębniłem linie zjonizowanego żelaza FE XXV  $K\alpha$  o położeniu  $\simeq 6.7$  keV oraz szerokości równoważnej rzędu 0.3 keV. Pochodzenie linii wyjaśniliśmy obecnością “Comptonowsko-przezroczystego” (ang.: Compton-thin) gazu na skalach rzędu rejonu emisji szerokich linii (ang.: Broad-Line Region), poddanego procesowi fotojonizacji przez emisję dysku akrecyjnego oraz korony dyskowej.

Trzecim badanym obiektem było źródło radiowe 1146+596 znajdująca się w galaktyce eliptycznej NGC 3894, charakteryzującej się obecnością aktywnego jądra o niskiej jasności. Jest to jedna z najmłodszych znanych radiogalaktyk emitująca również wysokoenergetyczne promieniowanie  $\gamma$ . Wykorzystując dane archiwalne pochodzące z teleskopu Chandra pokazaliśmy, że widmo obiektu najlepiej opisuje model składający się z połączenia emisji zjonizowanej plazmy termicznej, umiarkowanie zaabsorbowanego komponentu potęgowego, oraz wyraźnej linii żelaza  $K\alpha$  o położeniu  $\simeq 6.4$  keV oraz szerokości równoważnej  $\simeq 1$  keV. Biorąc pod uwagę obserwowaną emisję podczerwoną galaktyki w ramach tzw. “rentgenowskiego efektu Baldwina”, argumentowaliśmy za pochodzeniem obserwowanej linii żelaza z odbicia kontinuum rentgenowskiego od zimnego neutralnego gazu znajdującego się w centralnych regionach NGC 3894, w tzw. torusie pyłowym.

Podsumowując, moje badania wykazują powszechność występowania fluorescencyjnych linii żelaza w radiowo-głośnych galaktykach aktywnych różnych typów, zarówno tych o małej jak dużej (maksymalnej) jasności. Obserwujemy przy tym różnorodne linie żelaza, w tym linie relatywistycznie poszerzone i grawitacyjnie przesunięte ku czerwieni, pochodzące od zjonizowanego gazu lub neutralnego gazu, na dodatek z różnymi szerokościami równoważnymi, od kilkudziesięciu eV do kilku keV. Badania, które przeprowadziłem w trakcie doktoratu, podkreślają ważną rolę rentgenowskich badań spektroskopowych fluorescencji żelaza w klasie radiowo-głośnych galaktyk aktywnych, z uwagi na możliwość uzyskania ograniczeń fizycznych na wewnętrzną strukturę ich jąder (dysków akrecyjnych i otaczającego gazu), w *połączeniu* z ograniczeniami na energetykę oraz cykl aktywności centrali czarnej dziury uzyskiwanymi z badań emisji radiowej (i, w niektórych przypadkach, również wysokoenergetycznej emisji  $\gamma$ ) relatywistycznych dżetów.