

## *Abstract (in Polish)*

Centra wszystkich galaktyk zawierają supermasywne czarne dziury. W wielu galaktykach centralne czarne dziury stale gromadzą materię z otoczenia, co skutkuje ciągłym generowaniem promieniowania elektromagnetycznego o wysokiej jasności w całym zakresie widma elektromagnetycznego. Centra tych galaktyk znane są jako aktywne jądra galaktyczne (AGN-y). Proces akrecji w AGN-ach związany jest z tworzeniem się rozmaitych struktur wokół supermasywnej czarnej dziury; struktury te obejmują dyski akrecyjne, gorące korony oraz torusy pyłowe. Widmowe i czasowe badania emisji AGN-ów w szerokim zakresie długości fali ujawniły fizyczne właściwości tych struktur i ich wzajemne oddziaływanie. Pozostają jednak otwarte pytania. Na przykład morfologia odległego, geometrycznie grubego, pyłowego torusa o skali parseków pozostaje niejasna. Torus służy jako zbiornik akrejującego gazu oraz pochłaniacz emisji pochodzącej z centralnych obszarów AGN-u. Obecne badania nad torusami AGN-ów koncentrują się na zrozumieniu ich struktury modelowanej jako zbiór tzw. kłaczków, ich rozmieszczenia, kształtu i profilu gęstości, oraz mechanizmów fizycznych związanych z ich tworzeniem się i kinematyką. W międzyczasie, w ciągu ostatnich dziesięcioleci, wykryto dużą liczbę przypadków ekstremalnej zmienności (o czynnik 10 lub więcej), w których jasności rentgenowskie i/lub optyczne różnią się bardziej niż oczekuje się od normalnej zmienności w AGN-ach (od kilku do kilkuset procent). Wiele z tych zdarzeń zostało powiązanych z dużymi zmianami w globalnym lub lokalnym tempie akrecji. Badanie zjawisk przejściowych o ekstremalnej wielozakresowej zmienności w AGN-ach może pomóc zrozumieć morfologiczne właściwości struktur takich jak dysk akrecyjny, korona emitująca promieniowanie rentgenowskie, obszar szerokich linii (BLR) lub rozkład pyłu w tych źródłach, a w szczególności ich ewolucję w reakcji na duże zmiany tempa akrecji. W niniejszej rozprawie zajmuję się wyzwaniem statystycznymi związanymi z określeniem struktury torusa przesłaniającego AGN-y, biorąc pod uwagę obecną jakość danych rentgenowskich; badam mechanizm napędzający ekstremalną zmienność w rozbłysku AGN-u oraz właściwości jego wewnętrznego przepływu akrecyjnego i geometrię obszaru BLR, a także rozwijam i testuję oprogramowanie do wykrywania zmiennej absorpcji w widmach rentgenowskich z teleskopu eROSITA.

W pierwszym projekcie przetestowaliśmy wiarygodność modeli widm rentgenowskich torusów w AGN-ach wykorzystywanych w badaniach spektroskopii rentgenowskiej zaabsorbowanych AGN-ów. W ostatnim czasie opracowano kilka modeli przetwarzania promieni rentgenowskich w torusie AGN-u. Obejmują one szereg zakładanych geometrii i morfologii torusa, np. gładkie lub kłaczkowate. Kilka przykładów takich modeli to UXCLUMPY, CTORUS, MYTORUS, itp. Stawiamy hipotezę, że biorąc pod uwagę dostępną jakość danych z obecnych instrumentów rentgenowskich, różne parametry modelu uzyskane poprzez modelowanie widm są słabo ograniczone. Degeneracje w tych modelach mogą ograniczać wiarygodność oszacowań istotnych parametrów, takich jak wewnętrzny indeks fotonowy czy parametry określające morfologię torusa. Aby zbadać wpływ jakości danych na ograniczenia parametrów, symulujemy wyniki obserwacji teleskopami XMM-Newton i NuSTAR oparte na sześciu różnych modelach torusa. Używamy metody "Bayesian Nested Sampling" zaimplementowanej w pakiecie „Bayesian X-ray Analysis” do analizy symulowanych zestawów danych z tym samym zestawem modeli torusa. Dla czasów ekspozycji i strumieni typowych dla pobliskich komptonowsko grubych AGN-ów, kilka parametrów morfologicznych torusa pozostaje nieograniczonych. Ponadto, rozróżnienie modelu lub morfologii przy użyciu metod bayesowskich jest możliwe tylko wtedy, gdy mamy wysoką wewnętrzną wartość strumienia dla typowego czasu ekspozycji. Nasz projekt ma na celu wskazanie społeczności rentgenowskiej z jaką dokładnością można stosować poszczególne modele torusa, jakie wnioski można wyciągnąć co do geometrii i morfologii torusa, oraz jak solidne są oszacowania parametrów modelu z implikacjami dla precyzji ograniczeń tych parametrów.

W drugim projekcie przedstawiamy wyniki wielozakresowej kampanii obserwacyjnej rozbłysku

oraz przejścia stanowego AGN-u, mającej na celu zbadanie mechanizmu rozbłysku oraz zależności od czasu reakcji poszczególnych struktur akrecyjnych - dysku, korony, BLR-u i torusa. W 2020 r. Zwicky Transient Facility wykrył przejściowy rozbłysk w AGN-ie 6dFGS gJ042838.8-000040 typu widmowego 1.9, w którym ostre maximum o amplitudach  $\sim 0,55$  i  $\sim 0,29$  magnitudo, odpowiednio w pasmach g i r, wystąpiło w ciągu  $\sim 40$  dni. Teleskop eROSITA na kosmicznym obserwatorium Spectrum Roentgen Gamma (SRG) również obserwował ten obiekt w promieniowaniu rentgenowskim w ramach przeglądu całego nieba, ale dopiero po tym, jak rozbłysk zaczął zanikać. Przeprowadziliśmy trzyletnią wielozakresową kampanię obserwacyjną tego źródła, aby śledzić ewolucję jego charakterystyki widmowej i czasowej. Kampania ta obejmowała wiele naziemnych teleskopów z możliwością monitorowania spektroskopowego w zakresie optycznym, oraz obserwatoria kosmiczne, w tym XMM-Newton i Swift, do obserwacji w zakresie rentgenowskim i UV. Widmo optyczne wykonane bezpośrednio po maksimum ujawniło zmianę typu widmowego z 1.9 do 1, wraz z pojawieniem się szerokiej linii  $H\beta$  o podwójnym maksimum, oraz niebieskiego kontinuum, nieobecnych w widmie archiwalnym z 2005 roku. Emisja promieniowania rentgenowskiego wykazuje dramatyczną zmienność strumienia: o czynnik  $\sim 17$ , ale bez ewolucji widmowej. Nie ma również dowodów na nadmiar miękkiego promieniowania rentgenowskiego, który jest powszechnie obserwowany w wielu Seyfertach o stałej emisji. Po tym zdarzeniu widmo optyczne ewoluowało od stanu zdominowanego przez niebieskie kontinuum w 2020 roku do stanu zdominowanego przez galaktykę 3 lata później. Nasze szczegółowe badania widmowe i czasowe nie wykazały żadnych widocznych śladów zaburzeń pływowych. W związku z tym proponujemy, że ekstremalna wielozakresowa zmienność została wywołana niestabilnością wewnętrznego dysku akrecyjnego. Nasze badania tego źródła wykazały, w jaki sposób niestabilność dysku spowodowała ekstremalny rozbłysk pochodzący z dysku akrecyjnego, który z kolei spowodował obserwowaną ekstremalną zmienność w kontinuum oraz w liniach widmowych pochodzących z korony rentgenowskiej, BLR-u i pyłowego torusa.

W trzecim projekcie wykorzystujemy dużą liczbę AGN-ów monitorowanych przez teleskop eROSITA do wyszukiwania zdarzeń zmiany stanu absorpcyjnego w AGN-ach (COAGN), które występują rzadko w odniesieniu do pojedynczego obiektu. W szczególności opracowuję i testuję oprogramowanie do wykrywania zdarzeń zmian absorpcji w danych archiwalnych z eROSIT-y. W tym projekcie stosujemy metodologię opartą na współczynniku twardości promieniowania rentgenowskiego do wykrywania zmieniającej się absorpcji AGN-u. Przetestowałem ten kod przy użyciu symulacji obserwacji eROSIT-a, zakładając uproszczone modele zaabsorbowanych AGN-ów. Okazało się, że zmiany absorpcji na linii widzenia można wykryć tylko w pobliskich, lekko absorbowanych, komptonowsko cienkich źródłach o strumieniu powyżej 1 mCrab w zakresie 2–10 keV. Oprogramowanie to będzie skuteczne w wykrywaniu jasnych źródeł COAGN zarówno w danych archiwalnych eROSITA, jak i w czasie rzeczywistym po wznowieniu przez eROSIT-ę przeglądu nieba. Nagromadzenie takich zdarzeń wspiera nasz długoterminowy cel, jakim jest statystyczne wyprowadzenie ograniczeń dotyczących właściwości i rozkładów chmur w celu weryfikacji modeli kłaczkowatego torusa. Dodatkowo, gdy w przyszłości pojawią się detekcje w czasie rzeczywistym, oprogramowanie to może generować alerty, aby inicjować intensywne widmowe i czasowe kampanie obserwacyjne, które mogą umożliwić nam pomiar rozkładu materii w obłoku zaangażowanym w trwające zdarzenie absorpcyjne.