

Fizyka ewoluujących czarnych dziur i ich relatywistycznych dżetów: od zapadających się masywnych gwiazd do aktywnych jąder galaktyk.

Dominika Ł. Król

Czarne dziury powiązane są z najbardziej spektakularnymi zjawiskami obserwowanymi we Wszechświecie. Te o masach gwiazdowych stoją za rozbłyskami gamma oraz aktywnością rentgenowskich układów podwójnych, podczas gdy supermasywne czarne dziury, o masach przekraczających miliony mas Słońca, napędzają aktywność jąder galaktyk (ang: Active Galactic Nuclei, w skrócie AGN). Z uwagi na lepkość, energia materii akreującej na czarną dziurę jest dysypowana, co zwiększa energię wewnętrzną gazu oraz wzmacnia pole magnetyczne. Zjawiska te skutkują silną emisją na bardzo wysokich częstotliwościach promieniowania elektro-magnetycznego oraz mogą prowadzić do powstania wiatrów i wypływów z dysku akrecyjnego. W niektórych przypadkach dochodzi do wyrzucenia spektakularnych relatywistycznych strug (dżetów) które powstają kosztem energii rotacji czarnej dziury.

Co ciekawe, czarną dziurę można opisać za pomocą jedynie trzech parametrów. Są to masa, spin i ładunek elektryczny. W kontekście astrofizycznym ładunek powinien jednak zostać szybko zneutralizowany z uwagi na wysoką przewodność plazmy kosmicznej, czyniąc masę i spin jedynymi parametrami opisującymi czarną dziurę, niezależnie od jej pochodzenia, ewolucji i historii akrecji. Pomimo tej pozornej prostoty, czarne dziury występują w szerokim wachlarzu obiektów astrofizycznych, odgrywając aktywną rolę w kształtowaniu swojego otoczenia. Wiele pytań dotyczących szczegółów tego oddziaływania i roli aktywności pozostaje otwartych. Niniejsza praca doktorska składa się z czterech opublikowanych, powiązanych tematycznie artykułów naukowych, które zgłębiają fizykę czarnych dziur i ich relatywistycznych dżetów w różnych systemach astrofizycznych.

W pierwszym projekcie analizowaliśmy ewolucję spinu i masy czarnej dziury tuż po jej powstaniu w wyniku kolapsu supermasywnej gwiazdy. Naszym celem było określenie, w jaki sposób ostateczne wartości tych parametrów zależą od początkowego spinu czarnej dziury, momentu pędu akreującej materii i siły pola magnetycznego. Uważa się, że tego typu systemy (ang: collapsars) są źródłami długich błysków gamma. W analizie wykorzystaliśmy zmodyfikowaną wersję kodu numerycznego High Accuracy Relativistic Magnetohydrodynamics rozwiązującego równania magnetohydrodynamiczne w ramach ogólnej teorii względności.

W kolejnym projekcie skupiliśmy się na relatywistycznych dżetach blazarów (ang: blazars), klasy AGNów których emisja jest zdominowana właśnie przez relatywistycznie wzmocnioną emisję dżetu. Zainteresowały nas monochromatyczne modulacje pojawiające się w optycznej krzywej zmian blasku blazara S5 07165+714 na przestrzeni ostatnich ~ 20 lat. Wyszliśmy hipotezę, że modulacje te mogą być wynikiem soczewkowania grawitacyjnego, w którym emisja kolejnych segmentów dżetu jest soczewkowana przez ciężki układ podwójny znajdujący się w galaktyce macierzystej blazara. W zależności od odległości pomiędzy źródłem a soczewką, układ ten zawierać może czarną dziurę o masie pośredniej (ang: Intermediate Mass Black Hole). Wyniki analizy oferują nowe spojrzenie na modelowanie zmienności blazarów oraz wskazują potencjalną nową metodę identyfikacji układów podwójnych zawierających czarne dziury o masach pośrednich.

Trzeci projekt dotyczył wielozakresowej emisji zwartych obiektów symetrycznych (ang: Compact Symmetric Objects). Jest to klasa AGNów charakteryzujących się młodymi strukturami radiowymi, które są cennym źródłem informacji o początkowych etapach ewolucji radiogalaktyk. Przedmiotem naszej analizy była identyfikacja źródła emisji rentgenowskiej w tych układach. Wykazaliśmy, że w przypadku trzech obiektów wyróżniających się występowaniem fluorescencyjnej linii żelaza K_{α} w ich silnie zaabsorbowanych widmach (J1407+2827, J1511+0518 i J2022+6137), wysokoenergetyczna emisja może pochodzić ze zwartych płatów (lobów) radiowych znajdujących się wewnątrz torusa pyłowego.

Ostatni projekt zawarty w tej pracy doktorskiej dotyczy magnetyzacji relatywistycznych dżetów z radialnym ścinaniem prędkości. Poprzez rachunki matematyczne oraz obliczenia numeryczne pokazaliśmy, że na dużych odległościach od centrum galaktyki, energia kinetyczna materii przewyższa strumień Poyntinga dżetów w równowadze magneto-hydrostatycznej, opisywanych gładkim profilem ciśnienia. Ten zaskakujący wynik jest interesujący w zestawieniu z prezentowanymi w literaturze rachunkami pokazującymi, że dżety kolimowane i przyśpieszane magnetohydrodynamicznie, przy udziale ciśnienia otoczenia, pozostają zdominowane przez strumień Poyntinga, nawet na logarytmicznie dużych odległościach od centralnej czarnej dziury.