

## Popularnonaukowe streszczenie projektu

Spadek materii na ciała niebieskie, zwany w astrofizyce akrecją, może wyzwolić pokaźne ilości energii grawitacyjnej. Akrecja na ciała zwarte, to znaczy na czarne dziury i gwiazdy neutronowe, jest najpotężniejszym źródłem energii we Wszechświecie, w którym wyzwala się od kilku do kilkudziesięciu (prawie czterdziestu) procent masy spoczynkowej spadającej materii. Dla porównania reakcje termojądrowe wyzwalają najwyżej ułamki procenta masy spoczynkowej nukleonów. Energia wyzwolana w akrecji jest źródłem promieniowania obserwowanego m.in. z kwazarów, aktywnych jąder galaktyk, błysków gamma i rentgenowskich układów podwójnych. Promieniowanie elektromagnetyczne wyświecane wskutek akrecji wywiera na spadającą materię ciśnienie rosnące z jasnością. Przy pewnej krytycznej jasności, zwanej jasnością Eddingtona, siła promieniowania równa jest sile grawitacyjnej co zmienia charakter akrecji. Jednakowoż wartość jasności Eddingtona  $L_{\text{Edd}}$  (zależąca tylko masy ciała na które odbywa się spadek) jest tylko jasnością krytyczną a nie jasnością graniczną: akrecja może wytwarzać jasności przewyższające, i to znacznie, wartość krytyczną. Po pierwsze, na ogół przepływ akrecyjny nie jest sferycznie symetryczny lecz przybiera spłaszczony kształt dysku, czy też torusa i już taka geometria pozwala przekroczyć  $L_{\text{Edd}}$ . Po drugie, przy wysokich tempach akrecji promieniowanie może być nie-izotropowe, silnie skoncentrowane wzdłuż pewnego kierunku, inaczej mówiąc skolimowane. W takim przypadku założenie izotropii obserwowanego promieniowania prowadzi do znacznego przecenienia rzeczywiście wyświecanej jasności. Wreszcie, też wbrew rozpowszechnionej opinii, w przypadku czarnych dziur nie ma żadnego ograniczenia na tempo akrecji związanego z ciśnieniem promieniowania gdyż fotony są schwyte przez spadającą materię i wraz z nią wpadają pod horyzont.

O ile istnieje standardowy model pod-Eddingtonowskich, cienkich dysków akrecyjnych o tyle nie ma jego odpowiednika dla grubych super-Eddingtonowskich konfiguracji akrecyjnych. W wyniku trwających już 40 lat prób zrozumienia fizyki wysokich temp akrecji, do których istotny wkład wnieśli kierownik i jeden z wykonawców niniejszego projektu badań, powstało kilka modeli przepływów super-Eddingtonowskich, które zapewne opisują różne aspekty tego typu akrecji, ale które ciągle czekają na niezbędną syntezę. Synteza ta jest głównym celem niniejszego projektu; projektu, który stał się niezwykle aktualny wskutek niedawno dokonanych odkryć super-Eddingtonowskich źródeł rentgenowskich.

Do niedawna bowiem brakowało niezbitych dowodów obserwacyjnych na istnienie jasności ponad Eddingtonowskich i gdy obserwowano np. jasności wyższe od  $L_{\text{Edd}}$  dla masy 10 mas Słońca (typowej dla czarnych dziur w rentgenowskich układach podwójnych) w tak zwanych ultra-jasnym źródłach rentgenowskich, zakładano powszechnie, że są to czarne dziury o tzw. masie pośredniej, tzn. od 500 do 10 000 mas Słońca. Tym samym pozbywano się akrecji super-Eddingtonowskiej i znajdowało się nieuchwyte dotychczas czarne dziury o masach pośrednich. Najważniejszym przykładem jest źródło HLX-1 w galaktyce spiralnej ESO 243-49, które by nie być super-Eddingtonowskie musiałoby zawierać czarną dziurę o masie 10 000 mas Słońca. Sytuacja zmieniła się całkowicie w 2014 r. gdy zmierzono masy ciał zwartych w dwóch ultra-jasnym źródłach rentgenowskich. W obu przypadkach okazało się, że chodzi masy dużo mniejsze od pośrednich: ciało zwarte w źródle X-2 galaktyki M82 okazało się być gwiazdą neutronową, a więc obiektem, którego masa z pewnością nie przekracza 3 mas Słońca. Jasność tego źródła jest stokrotnie większa od  $L_{\text{Edd}}$ .

Chociaż kierownik tego projektu i wykonawcy pracowali już w przeszłości nad zagadnieniami związanymi z akrecją super-Eddingtonowską, wnosząc ogólnie uznany wkład w ich rozwiązanie, ostatnie odkrycia niezbitie super-Eddingtonowskich źródeł rentgenowskich stanowią silny i oczywisty bodziec do podjęcia syntezy modelowania ultra-jasnym przepływów akrecyjnych i wyznaczenia dróg ewolucyjnych prowadzących do obecnie obserwowanych układów podwójnych zawierających czarne dziury i gwiazdy neutronowe. Są to cele niniejszego projektu badań naukowych. Unifikacja i synteza dotyczyć będzie modeli analitycznych i numerycznych.

Innym ważnym zadaniem naszego projektu będzie zrozumienie i opis zmienności ultra-jasnym źródeł rentgenowskich. Niektóre z nich wykazują duże zmiany jasności, które nazwać można wybuchami. Wybuchy te są bardzo podobne do tych, które obserwuje się w wielu układach podwójnych zawierających czarne dziury o masach gwiazdowych, lub gwiazdy neutronowe. Wybuchy te będziemy opisywać adaptując model wybuchów, którego kierownik projektu jest współautorem, do dysków o super-Eddingtonowskich tempach akrecji. Będzie miało to decydujące znaczenie dla rozstrzygnięcia problemu masy czarnej dziury w HLX-1, gdyż obserwowane czasy zmienności wybuchów w tym źródle są w całkowitej niezgodzie z masami pośrednimi ale świetnie pasują do czarnej dziury o masie kilku mas Słońca.

Wreszcie, ponieważ większość, a może wszystkie, ultra-jasne źródła rentgenowskie są ciasnymi układami podwójnymi zawierającymi ciała zwarte o masach gwiazdowych, należy wyjaśnić skąd się wzięły i dokąd zdążają, czyli określić ich status ewolucyjny, a przede wszystkim wytłumaczyć obecność bardzo wysokich temp utraty masy przez gwiazdowego towarzysza ciała zwartego. Do osiągnięcia tego kluczowego celu naukowego naszego projektu, użyte będą najwyższej jakości kody numeryczne syntezy populacji gwiazdowych i ewolucji układów podwójnych autorstwa K. Belczyńskiego, jednego z wykonawców niniejszego projektu. Pozwoli to na syntezę wyników dotyczących fizyki przepływów akrecyjnych z wynikami rachunków ewolucyjnych.