

Dr hab. Dorota Rosińska, prof. UW
Obserwatorium Astronomiczne
Uniwersytet Warszawski
Aleje Ujazdowskie 4
00-478 Warszawa

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Agnieszki Stępnik

pt. „*Procesy hadronowe w dwutemperaturowych przepływach akrecyjnych*”

Rozprawa doktorska Pani mgr Agnieszki Stępnik poświęcona jest akrecji na czarną dziurę w rentgenowskich układach podwójnych oraz w aktywnych jądrach galaktyk. Doktorantka badała procesy fizyczne w optycznie cienkich, dwutemperaturowych przepływach, które stosuje się powszechnie do wyjaśnienia układów akrecyjnych z czarnymi dziurami o małych jasnościach. Główny wkład doktorantki w badania to opracowanie modelu uwzględniającego procesy hadronowe oraz nietermiczne promieniowanie synchrotronowe, przeprowadzenie symulacji numerycznych oraz porównanie otrzymanych wyników z aktualnymi obserwacjami. Uwzględnienie w spójny wewnętrznie sposób nowych procesów fizycznych pozwoliło mgr Stępnik otrzymać kilka ciekawych i oryginalnych wyników. Za szczególnie ważny wynik uważam systematyczne zbadanie procesów fizycznych zachodzących w pobliżu akreującej czarnej dziury i narzucenie ograniczeń na parametry modelu poprzez porównanie jego przewidywań z licznymi i coraz bardziej dokładnymi obserwacjami wybranych aktywnych jąder galaktyk oraz rentgenowskich układów podwójnych o małej jasności. Dodatkowo doktorantka opracowała model poprawnie obliczający hadronową emisję gamma przepływów akrecyjnych, pokazując, że obserwowana jasność w promieniowaniu gamma jest dwa rzędy wielkości niższa niż sądzono, pomimo założenia o wysokich energiach protonów.

Praca doktorska „Procesy hadronowe w dwutemperaturowych przepływach akrecyjnych” napisana jest w języku polskim, składa się ze spisu treści, sześciu rozdziałów, dwóch dodatków, A i B, 37 rysunków, dwóch tabel oraz bardzo obszernej bibliografii zawierającej ponad 150 pozycji. Rozdział pierwszy stanowi obszerny wstęp zawierający przegląd badań dotyczących czarnych dziur i procesów fizycznych zachodzących w ich bliskim otoczeniu oraz charakterystykę i kryteria wyboru obiektów, które są przedmiotem badań Pani mgr Stępnik.

W rozdziale drugim opisany jest szczegółowo model użyty do wyjaśnienia obserwowanych układów akrecyjnych z czarną dziurą o małych jasnościach.

W rozdziałach 3, 4 i 5 zostały przedstawione zasadnicze wyniki rozprawy doktorskiej. Rozdział trzeci poświęcony jest modelowaniu emisji promieniowania gamma powstałego na skutek rozpadu pionów neutralnych przy uwzględnieniu, po raz pierwszy, procesu absorpcji fotonów gamma w przepływie w aktywnych jądrach galaktyk. Obliczenia były przeprowadzone w reżimie relatywistycznym, co pozwoliło na zbadanie zależności emisji promieniowania gamma od spinu czarnej dziury. W rozdziale 4 doktorantka zbadła w sposób systematyczny wpływ parametrów stosowanego przez nią modelu na własności promieniowania synchrotronowego i pokazała, dla jakich zakresów parametrów model daje wyniki zgodne z obserwacjami. W rozdziale piątym autorka pokazuje, że promieniowanie nietermicznych elektronów

synchrotronowych produkowanych w procesach hadronowych w gorącym akrecyjnym przepływie pozwala uzyskać zgodność z obserwacjami aktywnych jąder galaktyk.

Rozdział szósty zawiera podsumowanie, dyskusję i wnioski końcowe z położeniem nacisku na najważniejsze wyniki i efekty fizyczne, które zostały zbadane po raz pierwszy przez doktorantkę i jej współpracowników. W dodatkach A i B zostały opisane procesy hadronowe i promieniste, których uwzględnienie w modelach stanowi istotny wkład Pani mgr Stępnik.

Wyniki zawarte w dysertacji zostały częściowo opublikowane w latach 2013-2015 w trzech renomowanych czasopismach recenzowanych oraz w kilku doniesieniach konferencyjnych, gdzie w dwóch z nich Pani mgr Stępnik jest pierwszym autorem. Istotną wartością dodaną w tekście rozprawy jest porównanie przewidywań modeli teoretycznych z aktualnymi danymi obserwacyjnymi.

Autorka wykazała się bardzo dobrą znajomością aktualnego stanu wiedzy z zakresu astrofizyki wysokich energii oraz dogłębnym zrozumieniem procesów fizycznych zachodzących w otoczeniu akreującej czarnej dziury. Analiza wyników naukowych prezentowanych przez doktorantkę jest wnikliwa i rzetelna. Dyskutowane są wszelkiego rodzaju niepewności. Metodologicznie praca jest bez zastrzeżeń. Opis w przeważającej części pracy jest klarowny, metodyczny, choć w niektórych wypadkach przeszkadza odwoływanie się przez Panią Stępnik do wzorów bądź rysunków, które będą omawiane dopiero w następnych rozdziałach. Mankamenty rozprawy są nieliczne i nie dotyczą spraw zasadniczych. Poniżej kilka uwag krytycznych:

- brak spisu rysunków
- str. 5, rozdział 1.2 „Wszystkie znane czarne dziury pochodzenia gwiazdowego obserwowane są w podwójnych układach rentgenowskich”. Zdanie powyższe jest nieprawdziwe, czarne dziury pochodzenia gwiazdowego są obserwowane również przez detektory fal grawitacyjnych LIGO/Virgo. Obecnie opublikowanych jest 10 detekcji dwóch zderzających się gwiazdowych czarnych dziur w układach podwójnych (ale nie rentgenowskich) i ponad 10 kandydatów na takie zderzenia. Doktorantka pisała o tych obserwacjach na str. 4. więc sadzę, że jest to po prostu niefortunne sformułowanie.
- brak definicji niektórych symboli, np.: „i” we wzorze 1.5 na str. 5, Λ_{ie} we wzorze 2.2 na str. 28 (zdefiniowane dopiero w podpisie rysunku 2.2 na str. 31).

Powyższe uwagi krytyczne, natury głównie redakcyjnej, nie umniejszają merytorycznej wartości pracy. Podsumowując stwierdzam, że rozprawa zawiera wiele oryginalnych i ważnych wyników naukowych umożliwiających konfrontację przewidywań teoretycznych z przyszłymi obserwacjami co pozwoli lepiej zrozumieć proces akrecji na czarną dziurę w rentgenowskich układach podwójnych i aktywnych jądrach galaktyk o małych jasnościach. Stanowi to bardzo istotny wkład Pani mgr Stępnik w dziedzinę astrofizyki wysokich energii.

Uważam, że przedstawiona mi do oceny dysertacja spełnia ustawowe i zwyczajowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim. Wnoszę zatem o przyjęcie rozprawy doktorskiej Pani mgr Agnieszki Stępnik i wnoszę o dopuszczenie do dalszych etapów przewodu doktorskiego i do publicznej obrony.

Warszawa, 30 maj 2019

dr hab. Dorota Rosińska