



UNIwersytet
Zielonogórski

Wydział Fizyki i Astronomii

INSTYTUT ASTRONOMII im. profesora Janusza Gila

Ul. Prof. Szafrana 2, 65-516 Zielona Góra

tel. (68) 328 73 60; fax: (68) 328 73 60

e-mail: ia@astro.ia.uz.zgora.pl; <http://astro.ia.uz.zgora.pl>

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Jerzego Pabicha pt.

„Modelowanie procesów radiacyjnych wysokich energii w układach podwójnych gwiazd i ich otoczenia”

Rozprawa doktorska pana mgr Jerzego Pabicha poświęcona jest analizie procesów fizycznych mogących prowadzić do emisji wysokoenergetycznego, w zakresie GeV- TeV, promieniowania gamma z wybranych układów podwójnych gwiazd. Zarówno badania teoretyczne jak i obserwacje pokazują, że warunki panujące w niektórych typach układów podwójnych gwiazd są dogodne do przyspieszania cząstek do wysokich energii, a w wyniku ich oddziaływania z otoczeniem, do produkcji wysokoenergetycznego promieniowania gamma, jak również towarzyszącej jej emisji neutrin. Autor opracował modele procesów radiacyjnych wysokich energii w dwóch typach układów podwójnych; w układzie kataklizmicznym typu pośrednio-polarnego V1223 Sgr oraz masywnych układach podwójnych WR 20a w młodej gromadzie otwartej Westerlind 2 oraz Eta Carinae wewnątrz gromady otwartej Trumpler 16. Układy te zostały wybrane ze względu na możliwość obserwacyjnej weryfikacji proponowanych przez autora modeli teoretycznych, dzięki obecnym i przyszłym detektorom. Tematyka podjęta w rozprawie należy do ważnych i aktualnych problemów współczesnej astrofizyki. Otrzymane wyniki przyczyniają się do lepszego zrozumienia, wciąż mało poznanych, mechanizmów przyspieszania cząstek w różnego typu układach podwójnych gwiazd, do wyjaśnienia produkcji wysokoenergetycznego promieniowania gamma oraz w konsekwencji do uzyskania pełnego obrazu warunków panujących w konkretnych układach.

Praca doktorska napisana w języku polskim, składa się ze spisu treści, streszczenia, pięciu rozdziałów, 22 rysunków, dwóch tablic oraz obszernej bibliografii zawierającej 182 pozycje. Zasadnicze wyniki rozprawy doktorskiej zostały opisane w rozdziałach 2, 3 i 4, z których każdy zakończony jest wnioskami. Rozdział pierwszy i piąty są odpowiednio obszernym wstępem i wnioskami końcowymi.

Rozdział pierwszy stanowi obszerny wstęp, podzielony na pięć podrozdziałów, z których pierwszy zawiera szczegółowy i wyczerpujący przegląd obserwacji promieniowania gamma z układów podwójnych gwiazd, z położeniem nacisku na pięć źródeł produkujących promieniowanie w zakresie TeV. Podrozdziały 1.2-1.5 poświęcone są omówieniu różnych modeli produkcji wysokoenergetycznego promieniowania gamma w przypadku układów podwójnych z pulsarem, mikrokwazarów, układów podwójnych masywnych gwiazd oraz układów podwójnych z akreującym białym karłem. Autor w rozdziale pierwszym pokazuje, że warunki panujące w różnych typach układów podwójnych mogą znacznie różnić się od siebie stąd konieczność opracowania różnych modeli procesów radiacyjnych wysokich energii. Autor wykazał się bardzo dobrą znajomością aktualnego stanu wiedzy z zakresu astrofizyki wysokich energii oraz dogłębnym zrozumieniem procesów fizycznych zachodzących w różnego typu układach podwójnych.

Rozdział drugi zawiera pierwszą część zasadniczych wyników rozprawy doktorskiej mgr Pabiacha. Rozdział ten poświęcony jest modelowaniu procesów radiacyjnych wysokich energii w układach kataklizmicznych. W szczególności autor rozważa model w którym hadrony i elektrony przyspieszane są do wysokich energii w turbulentnych i silnie namagnetyzowanych, wewnętrznych częściach dysku akrecyjnego przy założeniu, że dysk rozciąga się aż do powierzchni białego karła. Ważnym rezultatem jest obliczenie widma promieniowania rentgenowskiego i gamma z pośrednio polarnego układu kataklizmicznego V1223 Sgr, który jest jednym z najjaśniejszych źródeł nietermicznego promieniowania rentgenowskiego w tej klasie obiektów. Otrzymane przez doktoranta widma składają się z trzech komponentów; widma synchrotronowego od pierwotnych elektronów (zakres twardego promieniowania rentgenowskiego), widma synchrotronowego od wtórnych leptonów powstałych z rozpadu naładowanych pionów z kolizji hadronowych w pobliżu powierzchni białego karła (zakres od twardych rentgenów do miękkiego promieniowania gamma) oraz widma wysokoenergetycznego promieniowania gamma (zakres GeV i TeV) z rozpadu neutralnych pionów produkowanych w zderzeniach hadronowych. Doktorant pokazał, że w zależności od wykładnika widmowego hadronów przyspieszanych w obszarze turbulentnym dysku, wysokoenergetyczna emisja z V1223 Sgr może być w zakresie GeV zaobserwowana przez teleskop Fermi-LAT, a w niedalekiej przyszłości przez CTA w zakresie TeV. Na ile istotny jest wkład od przewidywanej przez autora emisji od wtórnych leptonów przy energiach powyżej 100 keV mogą pokazać przyszłe obserwacje. Otrzymane wyniki są istotne dla zrozumienia natury układów kataklizmicznych podobnych do V1223 Sgr i pokazują, że tego typu obiekty są one interesującą klasą potencjalnych źródeł promieniowania gamma.

Rozdziały 3 i 4 zawierają zasadnicze wyniki dotyczące modelowania procesów radiacyjnych wysokich energii w układach podwójnych zawierających dwie masywne gwiazdy, odpowiednio Eta Carinae i WR20a oraz w ich otoczeniu. Doktorant dla każdego z układów oblicza widma fotonów gamma i neutrin i konfrontuje je z obserwacjami.

Eta Carinae jest najbardziej masywnym znanym układem podwójnym gwiazd ze zderzającymi się szybkimi wiatrami. Obserwacje m.in. AGILE, Fermi-LAT i INTEGRAL potwierdzają, że układ ten jest źródłem nietermicznego promieniowania gamma. Aby wyjaśnić obserwowane promieniowanie gamma, doktorant zbadał różne scenariusze emisji wysokoenergetycznego promieniowania gamma i przyspieszania cząstek na falach uderzeniowych powstałych w wyniku kolizji wiatrów gwiazdowych. W odróżnieniu od poprzedników, autor rozważa przyspieszanie elektronów i hadronów na dwóch falach uderzeniowych, a nie jednej, powstałych w wietrze od strony gwiazdy Eta Carinae i od gwiazdy towarzyszącej. Bardzo ważnym wynikiem jest obliczenie przez doktoranta widma promieniowania rentgenowskiego i gamma dla dwóch modeli, leptonowego (model A) i hadronowego (model B) zgodnych z obserwacjami wykonanymi przez INTEGRAL i Fermi-LAT oraz widma neutrin produkowanych przez hadrony wewnątrz mgławicy Carina. Oczekiwany strumień neutrin jest powyżej tła neutrinowego z atmosfery. Detekcja neutrin przez detektory typu IceCube z układu Eta Carinae bądź jej brak pozwoli narzucić ograniczenia na modele przyspieszania cząstek w tego typu układach.

W **rozdziale 4** autor bada procesy wysokich energii zachodzące w wyniku oddziaływania masywnych układów podwójnych z otaczającą je materią w gromadach otwartych. Motywacją do zajęcia się tą tematyką były detekcje emisji promieniowania gamma w zakresie GeV-TeV z kierunku kilku gromad otwartych zawierających masywne gwiazdy. Doktorant opisuje krok po kroku skomplikowany model, w którym rozpatruje przyspieszanie cząstek do wysokich energii i emisję wysokoenergetycznego promieniowania w wyniku oddziaływania gwiazd masywnego układu z gęstym otoczeniem. Bardzo istotnym wynikiem uzyskanym przez mgr Pabiacha jest otrzymanie widm fotonów gamma i neutrin dla układu podwójnego WR20a w gromadzie otwartej Westerlind 2 oraz układu Eta Carinae wewnątrz gromady otwartej Trumpler 16 i skonfrontowanie ich z obserwacjami. Autor pokazał, że w przypadku wysokoenergetycznego

promieniowania gamma wyniki są zgodne z obserwacjami HESS i Fermi i mogą być w bliskiej przyszłości zweryfikowane przez obserwatorium CTA. Doktorant zwraca uwagę, że również innego typu astrofizyczne źródła mogą mieć wkład do wysokoenergetycznej emisji promieniowania gamma obserwowanej z kilku gromad otwartych.

Zasadnicze wyniki, umieszczone w rozdziałach 2,3 i 4, uzyskane przez mgr Jerzego Pabicha są bardzo ciekawe i wnoszą istotny wkład w dziedzinę astrofizyki wysokich energii. Są ważnym krokiem w wyjaśnieniu skomplikowanej natury procesów zachodzących w układach podwójnych emitujących wysokoenergetyczne promieniowanie gamma. Rozprawa doktorska pokazuje, że Pan mgr Pabich jest w pełni ukształtowanym badaczem, dysponującym bardzo dobrym przygotowaniem zarówno w zakresie wiedzy teoretycznej jak i interpretacji i analizy danych obserwacyjnych. Metodologicznie praca nie budzi zastrzeżeń. Opis wyników jest klarowny. Dysertacja napisana jest ścisłym, ale przystępnym językiem.

Uwagi krytyczne:

Mankamenty rozprawy są nieliczne i nie dotyczą spraw zasadniczych.

Poniżej kilka z nich

- w pracy doktorant używa szeregu skrótów nazw obiektów, pochodzących z języka angielskiego, które pojawiają się przed wprowadzeniem ich opisu, albo są używane w sposób niejednoznaczny. Już na pierwszej stronie w spisie treści znajdujemy skrót „WD” w tytule podrozdziału 2.2.4 „Ucieczka fotonów gamma z okolic WD”, podczas gdy skrót ten wprowadzony jest dopiero na 4 stronie i oznacza białe karły (autor zakłada, że czytelnik wie, że białe karły po angielsku to White Dwarfs). Biorąc pod uwagę, że praca napisana jest w języku polskim, spodziewałabym się użycia w tym przypadku skrótu BK (od Białe Karły) co byłoby bardziej intuicyjne, ale w tytułach rozdziałów – użycia pełnych nazw obiektów. Kolejny skrót IPWDs został użyty na stronie 3 jako odpowiednik kataklizmicznych białych karłów, a następnie na stronie 22 jedynie do jednego z typów układów kataklizmicznych tzw. układów typu pośrednio-połarnego z ang. Intermediate Polars White Dwarfs. Użycie więc tego skrótu na stronie 3 jest niewłaściwe,

- w rozprawie doktorskiej zdarzają się literówki np. na str 8 „promieniowaniao”, na str 13 „układków” oraz niezręczne sformułowania, bądź powtórzenia typu „...wyniki nie umożliwiają jeszcze uzyskania spójnego obrazu umożliwiającego..” albo „Liczę widma produkowanych fotonów gamma ..”,

- na stronie 24 wprowadzony jest symbol $\dot{M}_{acc}$ na szybkość akrecji materii na powierzchnię białego karła, podczas gdy we wzorze 2.1 użyto innego oznaczenia na tę wielkość $\dot{M}$,

- rysunek 1.1 jest bardzo złej jakości, większość napisów jest nieczytelna,

- w tablicy 1.1 brakuje informacji o szacowanej masie obiektu zwartego opisanych układach podwójnych

Powyższe uwagi krytyczne, natury głównie redakcyjnej, nie umniejszają merytorycznej wartości pracy. Uzyskane przez doktoranta wyniki świadczą, że osiągnął on wysoki stopień kompetencji w tematyce pracy doktorskiej.

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa „*Modelowanie procesów radiacyjnych wysokich energii w układach podwójnych gwiazd i ich otoczenia*” zawiera wiele oryginalnych i ważnych wyników naukowych umożliwiających konfrontację przewidywań teoretycznych z przyszłymi obserwacjami, w zakresie wysokich energii widma elektromagnetycznego i neutronów. Pozwoli to narzucić ograniczenia na modele emisji promieniowania w zakresie energii GeV-TeV w układach podobnych do rozpatrywanych przez mgr Pabicha i uzyskać spójny obraz warunków w nich panujących. Jest to bardzo istotny wkład autora w dziedzinę astrofizyki wysokich energii.

Uważam, że przedstawiona mi do oceny dysertacja spełnia z naddatkiem ustawowe i zwyczajowe wymogi stawiane rozprawom doktorskim. Wnoszę zatem o przyjęcie rozprawy doktorskiej pana mgr Jerzego Pabicha i wnoszę o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

Warszawa, 12 luty 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Rosińska".

dr hab. Dorota Rosińska