

wpłynęło dnia 13. 05. 2019
Ydola

CENTRUM ASTRONOMICZNE IM. MIKOŁAJA KOPERNIKA PAN

ul. Bartycka 18, 00-716 Warszawa
tel: (22) 841 00 41, (22) 3296 100
fax: (22) 841 00 46
email: camk@camk.edu.pl
<http://www.camk.edu.pl>

Warszawa, 25 kwietnia 2019 roku

Dr hab. Michał Bejger
Centrum Astronomiczne
im. Mikołaja Kopernika PAN

Recenzja pracy doktorskiej mgr Miry Grudzińskiej pt.
*„Modelowanie aktywności wysokoenergetycznej w układach
podwójnych z pulsarem”*

Przedstawiona praca dotyczy dziedziny obserwacyjnej astronomii fotonów wysokiej energii, a w szczególności założeń i warunków początkowych, a dalej testów i wyników obliczeń mających na celu odtworzenie widma i krzywej zmian blasku twardego promieniowania (w zakresie od 1 MeV do 20 GeV) układu podwójnego LS 5039, składającego się z masywnej gwiazdy oraz - najprawdopodobniej - gwiazdy neutronowej-pulsara (najprawdopodobniej, ponieważ natura obiektu zwartego nie jest dokładnie znana). Temat i cel pracy jest dobrany trafnie w czasach coraz większej ilości dobrych danych obserwacyjnych, i możliwości związanych ze zrozumieniem teoretycznym procesów zachodzących w układzie, oraz możliwości obliczeniowych.

Na początek parę zdań o formie pracy. Całość jest obszerna (256 stron!) i napisana w „starym stylu”, to znaczy nieśpiesznie, z dużym wstępem historycznym i opisem stanu dziedziny. Praca składa się z dwóch części o porównywalnej wielkości: wspomnianego wstępu oraz opisu generycznego modelu układu podwójnego nazwanego GRay, zastosowanego do danych układu LS 5039. Część pierwsza pracy zawiera kompilację wyników innych autorów oraz wiele rysunków i diagramów przedrukowanych z przeglądu literatury, a druga czasami bardzo szczegółowe wyprowadzenia i testy modelu GRay. Praca jest na tyle samowystarczalna, że w zasadzie da się ją czytać bez częstego sięgania do źródeł.

Wstęp, w rozdziale 1 zawiera wprowadzenie do astronomii twardego promieniowania X i γ , opis historii dziedziny z bardzo szczegółowym uwzględnieniem różnych misji satelitarnych i postępów obserwacyjnych z nimi związanych, od najwcześniejszych obserwatoriów z lat 60tych do wciąż działających teleskopów Fermi, INTEGRAL itp. Rozdział 2 to dość krótki, ale treściwy wstęp do fizyki gwiazd neutronowych z punktu widzenia ich magnetosfer, to znaczy własności emisji pulsarowej, widm, emisji energii, z wyszczególnieniem istotnych w dalszej części pracy parametrów i rzędów wielkości. W rozdziale znajduje się też porównanie historycznych i nowych obserwacji różnych typów pulsarów. Rozdział 3 zawiera opis siedmiu układów podwójnych emitujących promieniowanie γ ,

wśród nich znajduje się oczywiście także LS 5039. Rozdział ten z natury rzeczy jest dość monotony - siedem podobnych do siebie podrozdziałów - ale, co zrozumiałe, konieczny by dać dobry wgląd w to, jak różne mogą być takie układy, i z jakimi problemami przychodzi się mierzyć przy określaniu ich parametrów. Rozdział 4 jest kompilacją literatury modeli opracowanych na temat wyróżnionego w pracy układu LS 5039, od najstarszych z początku wieku do coraz bardziej wyrafinowanych sprzed paru lat. Spis modeli przygotowuje grunt pod rozdział 5, który rozpoczyna drugą, oryginalną część pracy, to znaczy opis modelu GRay układu podwójnego masywnej gwiazdy z pulsarem w zastosowaniu do obiektu LS 5039. Opisana jest geometria i podstawowe elementy modelu: gwiazda, pulsar, powierzchnie szoków powstających ze zderzenia się wiatrów pulsarowego i gwiazdowego, hipotetycznego obszaru przyśpieszania elektronów z wiatru pulsarowego, oraz (bardzo szczegółowo) proces odwrotnego rozpraszania Comptona odpowiedzialny za emisję wysokoenergetyczną. Rozdział 6 zawiera testy modelu GRay, to znaczy zbadanie wpływu różnych elementów modelu na widmo i krzywą zmian blasku. Zwieńczenie, czyli rozdział 7, to wyniki modelu zoptymalizowane pod względem ich dopasowania do danych obserwacyjnych układu LS 5039 metodą minimalizacji sumy kwadratów różnic pomiędzy punktami obserwacyjnymi a wartościami wyznaczonymi z modelu.

Jak widać, praca została zaprojektowana sensownie. Szczególnie podoba mi się - poprawne z filozoficznego punktu widzenia - redukcjonistyczne podejście do testowania ważności różnych efektów uwzględnianych podczas modelowania w rozdziale 6, pozwalające wyrobić intuicje na temat modelu.

Na tle innych prac doktorskich, z którymi miałem do czynienia, przedstawiona dysertacja prezentuje się dobrze. Jest napisana poprawnie po polsku (choć raz czy dwa zauważyłem sformułowanie *ilość pulsarów*), ale jeśli miałbym się „czepiać”, to jedynie zgrzytających tam i ówdzie obco brzmiących terminów typu *inklinacja* albo *tangencjalny*: czemu nie *nachylenie* i *styczny*? W pracy pojawiają się terminy np. *dysk ekskrecyjny*, które można by było dla kompletności wyjaśnić. Jest kilka niewielkich niedoróbek redaktorskich: w rozdziale 3.5 po raz pierwszy pojawia się wyjaśnienie słowa dżet (od ang. jets), choć dżety były już dyskutowane wcześniej. Rozdział 3.7 zawiera wyjaśnienie sformułowania pchnięcie dopplerowskie (ang. doppler boosting), choć to stwierdzenie pojawia się wcześniej na stronie 43. Inne niewielkie braki, które zauważyłem to brak definicji momentu magnetycznego μ w rozdziale 2.1; ten sam symbol jest później wykorzystywany w rozdziale 5 do oznaczenia kosinusa kąta rozproszenia promieniowania komptonowskiego. Na stronie 61 (Rozdział 3.4) znalazłem pomyłkę w zdaniu o wymiarach orbit (jest wymieniony HESS J0632+057 zamiast LSI +61° 303), a także pojawia się sformułowanie „Pulsar w układzie HESS J0632+057”, choć według wstępu na początku podrozdziału typ obiektu zwartego pozostaje nieznany. Niektóre przedrukowane rysunki są nieczytelne, np. rys 1 z bardzo małą czcionką. Dziwią przedruki rysunków oznaczone etykietą *preliminary*: rys. 15 z pracy Romoli et al. (2017) na stronie 39, rys. 42 z pracy Hadash et al. (2012) na stronie 69, rys. 44 Mariaud et al. (2015) na stronie 71.

Chciałbym też wspomnieć o paru pytaniach, które pozostały mi po przeczytaniu pracy. Choć głównym bohaterem rozprawy jest model GRay, mam niedosyt związany z praktyczną implementacją tego modelu, w pracy istniejącego tylko abstrakcyjnie w postaci wzorów, a nie jak mi by się wydawało słuszne - także w postaci kodu źródłowego. Zabrakło mi także wyraźnego wskazania, w czym model GRay różni się (jest lepszy) od poprzednich modeli. Inne pytania to: jak długo trwają obliczenia dopasowania jednego zestawu parametrów do danych (innymi słowy, jak długo szuka się globalnego minimum na siatce parametrów)? Jak znaczące jest skrócenie czasu obliczeń przy założeniu przy-

bliżenia punktowego rozmiaru gwiazdy? W podsumowaniu wspomniane jest ewentualne zastosowanie modelu GRay do metod syntezy populacji: czy obecne wymagania obliczeniowe modelu GRay pozwalają jego masywne zastosowanie w symulacjach? Jak istotne są rezultaty z rozdziału 7.5, które uzyskano dla zestawu parametrów niestanowiącego najlepszego dopasowania do danych obserwacyjnych. Czy fakt, że daje się odtworzyć widmo, ale nie krzywą zmian blasku oznacza, że w modelu brakuje dodatkowego elementu, czy też dałoby się dopasować model do danych przeprowadzając kompleksowe poszukiwanie minimum globalnego?

Wspomniane niewielkie niedociągnięcia czy moje pytania/wątpliwości nie wpływają jednak znacząco na ogólnie pozytywną ocenę pracy. Reasumując, przedłożona dysertacja spełnia ustawowe i zwyczajowe wymagania stawiane pracom doktorskim, dlatego wnioskuję o dopuszczenie mgr Miry Grudzińskiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Handwritten signature in blue ink, appearing to read "M Berger".

