

prof. dr hab. Krzysztof Murawski
Instytut Fizyki, UMCS
Pl. M. Curie-Skłodowskiej 5
20-031 Lublin

05.04.2024

Recenzja
rozprawy doktorskiej pt.
Badanie fizyki rozbłysków gwiazdowych i słonecznych
autorstwa mgr Małgorzaty Pietras

1 Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej

1.1 Krótka organizacja pracy

Recenzowana rozprawa doktorska składa się z 6 logicznie zorganizowanych i ponumerowanych rozdziałów. Oprócz tego praca zawiera nieponumerowane rozdziały o tytułach: Streszczenie, Wstęp, Spis rysunków i Literatura. Cel pracy i motywacje zamieszczone są we Wstępie. Rozdział 1 przedstawia podstawowe informacje o rozbłyskach słonecznych i gwiazdowych. Rozdział 2 dotyczy charakterystyki danych zbieranych przez misje kosmiczne i wykorzystanych w rozprawie doktorskiej. Oryginalny program, o nazwie WARPFIN-DER, służący do automatycznej detekcji i analizy rozbłysków gwiazdowych przedstawiony jest w rozdz. 3, a analiza rozbłysków gwiazdowych i słonecznych opisana jest odpowiednio w rozdz. 4 i 5. W Streszczeniu znajduje się adnotacja, że tekst rozprawy oparty jest w większości na trzech artykułach opublikowanych w *Astrophys. J.* Wśród cytowanych publikacji znaleźć można 4 pozycje z nazwiskiem Doktorantki, a na całkowity dorobek publikacyjny składa się 5 publikacji.

1.2 Cele i motywacje badań

Według informacji zamieszczonej w dysertacji głównym celem przeprowadzonych badań było lepsze poznanie fizyki rozbłysków gwiazdowych i słonecznych, a motywacją do wybrania tej tematyki była chęć porównania rozbłysków słonecznych z gwiazdowymi - obserwowanymi przez misje TESS i XMM-Newton. Do analizy rozbłysków słonecznych wykorzystano między innymi dane z misji GOES, SDO, RHESSI i teleskopu Fermi.

1.3 Główne wyniki badań

Główną metodą badań było wykorzystanie oryginalnego oprogramowania WARPFINDER do automatycznego wyszukiwania rozbłysków gwiazdowych i przeprowadzenie obszernej analizy tych rozbłysków. W szczególności:

1. na podstawie danych z misji TESS przeprowadzono największy, jak do tej pory, przegląd gwiazd rozblyskowych. Zbadano bowiem 330 000 gwiazd, z których 25 000 wykazało aktywność rozblyskową, a udało się przeanalizować aż 140 000 rozblysków;
2. wykazano, że rozblyski gwiazdowe o wysokich energiach charakteryzują się podwójną strukturą profilu. Aby dobrze opisać krzywą blasku rozblysku (przedstawiającą zmiany strumienia energii w czasie) potrzebny jest podwójny wrocławski profil rozblyskowy. Pierwszy profil jest związany z bezpośrednim grzaniem przez elektrony nietermiczne niższych warstw atmosfery gwiazdy (chromosfery i fotosfery). Drugi profil jest natomiast powiązany z procesami backwarming (wtórnymi procesami dogrzewania takimi jak np. przewodnictwo cieplne, fale magnetohydrodynamiczne) lub świeceniem pętli poroblyskowych w zakresie optycznym (Heinzel et al., 2017; Heinzel i Shibata, 2018; Howard i MacGregor, 2022; Yang i inni, 2023a);
3. otrzymano (potwierdzając poprzednie wyniki, które dotyczyły znacznie

mniejszej próbki danych) różne nachylenia krzywych blasku rozbłysku (rys. 4.13), a mianowicie dla gwiazd o masach:

- (a) mniejszych niż 0.3 masy Słońca (gwiazdy w pełni konwektywne);
- (b) pomiędzy 0.3 a 0.5 masy Słońca (gwiazdy w pełni konwektywne i częściowo konwektywne) oraz
- (c) powyżej 0.5 masy Słońca (gwiazdy częściowo konwektywne).

Świadczy to o różnej aktywności rozbłyskowej dla gwiazd w pełni konwektywnych (większa aktywność) i częściowo konwektywnych (mniejsza aktywność). Jest to związane z mechanizmami generacji pól magnetycznych i ich stopniem skomplikowania.

Warto również wspomnieć o innym istotnym wyniku tzn. o analizie rozbłysku na gwieździe Wolf 359. W dysertacji po raz pierwszy analizowano rozbłysk gwiazdowy o energii porównywalnej z energią rozbłysku słonecznego klasy X. Na podstawie danych z misji XMM-Newton określono parametry fizyczne i geometryczne pętli rozbłyskowej i dokonano ich porównania dla rozbłysków słonecznych o podobnej energii. Okazało się, że parametry na Słońcu i na gwieździe Wolf 359 są bardzo podobne do siebie. Jediną większą różnicą była średnia gęstość elektronowa pętli rozbłyskowej, gdzie dla rozbłysku gwiazdowego był to rząd około 10^{12} cm^{-3} , podczas gdy na Słońcu gęstość ta zazwyczaj sięga wartości 10^{11} cm^{-3} . Różnicę w wartościach gęstości elektronowej wyjaśniono większą aktywnością rozbłyskową gwiazdy Wolf 359, która rotując z okresem wynoszącym 2.7 dnia charakteryzuje się większą wartością gęstości masy w koronie tej gwiazdy.

Z przeprowadzonych analiz wywnioskowano, że w rozbłyskach gwiazdowych i słonecznych zachodzą analogiczne procesy fizyczne, zainicjowane przez rekoneksję pola magnetycznego, a przedłożone w niniejszej rozprawie doktorskiej wyniki stanowią istotny wkład Autorki do badań w dziedzinie rozbłysków słonecznych i gwiazdowych.

2 Uwagi merytoryczne

W mojej ocenie praca nie zawiera znaczących błędów merytorycznych. Wymienione poniżej usterki nie umniejszają mojej wysokiej oceny merytorycznej wartości rozprawy.

Wydaje się, że cel, motywacje do przeprowadzonych badań i organizacja pracy, które zamieszczone są we Wstępie, byłyby przejrzyste dla czytelnika, gdyby były wyodrędnione w oddzielnych częściach dysertacji. Cel i dość mgliście przedstawione motywacje są zresztą nieco pomieszane. Tymczasem cel i motywacje powinny jasno wynikać z poprzedzającego je tekstu zawierającego przegląd obecnego stanu wiedzy.

Organizacja pracy przedstawiona jest w końcowej części Wstępu. Tekst zyskałby na klarowności, gdyby wydzielić tą część i zatytuować ją jako np. "Organizacja pracy".

Materiał wprowadzający do tematyki dysertacji przedstawiony jest w bardzo ciekawy sposób w rozdziale pt. *Rozbłyśki gwiazdowe i słoneczne*. Na str. 17 w tym samym rozdziale wspomniane jest o mechanizmie dynamy magnetycznej. Mechanizm ten wytwarza pole magnetyczne, ale bezpośrednio nie wytwarza rozbłysku. Tekst mógłby więc być tutaj bardziej precyzyjny.

Wiadomo jest, że tzw. bateria Biermanna jest nieefektywna w wytwarzaniu pola magnetycznego w górnych warstwach konwekcyjnych i w fotosferze Słońca (np. Khomenko i inni, 2017). Czy jest szansa, że może ona wytworzyć odpowiednio silne pole magnetyczne na innych gwiazdach?

Na str. 22 znajduje się trochę niezręcznie użyta fraza "czas potrzebny na przebycie przez front przewodnictwa cieplnego drogi od szczytu pętli rozbłykowej do jej stóp". Fraza ta może wskazywać, że mamy do czynienia z frontem falowym. Tymczasem przewodnictwo cieplne jest związane z procesem dyfuzyjnym i transport energii odbywa się wskutek przekazywania energii na sposób ciepła.

Na str. 24 napisano: "Podczas analizy należy być świadomym krótkich

przerw obserwacyjnych". Jestem ciekaw, w jaki sposób potraktowano te przerwy w analizie danych przeprowadzonych w niniejszej rozprawie doktorskiej.

Zastanawiam się, czy w rozdz. pt. "Metody analizy danych" nie powinien w tytule być podkreślony fakt, że materiał tam przedstawiony związany jest z oryginalnym oprogramowaniem WARPFINDER. Informację taką można znaleźć na początku rozdz. 3.1, którego tytuł też nie zawiera informacji o WARPFINDER. Podobnie, być może należałoby wyakcentować w tytule podrozdziału nazwy wrocławskiego profilu rozbłysku.

W końcowych częściach rozdziałów, np. rozdz. 4.2 i 5.2, znajdują się ich podsumowania. Nieco czytelniej byłoby wyodrębnić je w postaci odpowiednich podrozdziałów.

Czy do analizy rozbłysków gwiazdowych byłoby wskazane uwzględnienie stanu ośrodka wzdłuż linii widzenia (ang. line of sight)? Efekty te wydają się być ważne w przypadku Słońca (np. Cooper i inni, 2003).

Wyżej wymienione uwagi nie umniejszają wysokiej wartości rozdziałów 3-5, które są bardzo komunikatywnie napisane. Chciałbym podkreślić pomysł porównania parametrów rozbłysków gwiazdowych i słonecznych nie tylko w tekście, ale także przedstawienia parametrów w skondensowanej formie w Tabeli 5.2.

W podsumowaniu, powyższe uwagi nie dotyczą jednak głównego nurtu pracy, którym było wykorzystanie oprogramowania WARPFINDER służącego do automatycznego zbierania i analizy danych obserwacyjnych. Uwagi te nie są więc decydujące w ogólnej wysokiej ocenie przeprowadzonych badań.

3 Uwagi do strony edytorskiej

Praca napisana jest dobrze pod względem edytorskim. Mała ilość usterek bądź drobnych błędów edytorskich nie wpływa na moją wysoką ocenę merytoryczną dysertacji.

4 Wnioski końcowe

Rozprawę doktorską mgr Małgorzaty Pietras uważam za bardzo cenny wkład w poznanie problemów związanych z badaniem rozbłysków gwiazdowych i słonecznych. Katalog zaobserwowanych rozbłysków, który został opracowany na podstawie wykorzystanego oryginalnego oprogramowania WARP-FINDER, może mieć szerokie zastosowanie w planowaniu dalszych obserwacji gwiazd aktywnych magnetycznie.

Na podstawie przedłożonej mi rozprawy doktorskiej stwierdzam, że mgr Małgorzata Pietras posiada dorobek naukowy, który w pełni spełnia wymagania stawiane przez ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym osobom ubiegającym się o stopień doktora. Stawiam więc wniosek o dopuszczenie mgr Małgorzaty Pietras do dalszych etapów przewodu doktorskiego i proszę o **wyróżnienie** recenzowanej rozprawy doktorskiej. Doktorantka włożyła bardzo duży wysiłek w przygotowanie dysertacji, w której przedstawiła bardzo ciekawe i istotne wyniki badań. Główne wyniki tych badań wymieniam w rozdz. 1.3 tej recenzji. Zostały one częściowo opublikowane w 3 artykułach w *Astrophys. J.*, a nieopublikowane wyniki zasługują również na ich upowszechnienie w równie renomowanych czasopismach.

Krzysztof Murawski

