

prof. dr hab. Krzysztof Murawski
Instytut Fizyki, UMCS
ul. Radziszewskiego 10
20-031 Lublin

09.10.2023

Recenzja
rozprawy doktorskiej pt.
Badanie rozbłysków słonecznych wykazujących quasi-okresowość
na podstawie obserwacji satelity Solar Orbiter
autorstwa mgr Żanety Szaforz

1 Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej

1.1 Organizacja pracy

Recenzowana rozprawa doktorska składa się z 6 logicznie zorganizowanych rozdziałów merytorycznych, zawiera podstawowe informacje o rozbłyskach słonecznych, charakterystykach czasowych quasi-okresowych oscylacji (QPPs - ang. *Quasi-Periodic Pulsations*) rozbłysków słonecznych, materiału obserwacyjnego, metod analizy danych wybranych rozbłysków i interpretacji otrzymanych wyników. Praca zawiera także spis rysunków, tabel i akronimów. Zamieszczone są też podziękowania, streszczenie i spis literatury. Wśród cytowanych publikacji znaleźć można 2 pozycje z nazwiskiem Doktorantki.

Rozprawa doktorska zorganizowana jest następująco. Dwa pierwsze rozdziały stanowią rodzaj wprowadzenia do podjętej tematyki pracy. W szczególności zdefiniowano rozbłyski słoneczne i podano ich klasyfikację ze względu na wielkość strumienia promieniowania rentgenowskiego. Dodatkowo, okre-

ślono fazy ewolucji rozbłysku i opisano 2 standardowe modele rozbłysku.

W Rozdz. 2 omówiono QPPs rozbłysków słonecznych charakteryzując ich modele teoretyczne, wśród których na szczególną uwagę zasługują te dotyczące różnego rodzaju fal magnetohydrodynamicznych (MHD). Mechanizmy wzbudzania QPPs zebrano w interesujący sposób w Tab. 2.1.

Rozdz. 3 stanowi opis materiału obserwacyjnego. W szczególności przedstawiono charakterystyki instrumentów na pokładzie satelity Solar Orbiter z kluczowym instrumentem STIX i scharakteryzowano wybrane obserwatoria słoneczne.

W Rozdz. 4 przedstawiono metody analizy danych. W szczególności zamieszczono Tab. 4.1, w której wymieniono rozbłyski z wykrytą istotną statystycznie okresowością. Omówiono także metody wyznaczania rozmiarów rozbłysków i parametrów fizycznych plazmy rozbłyskowej. Wyniki badań zamieszczono w Tab. 4.2.

Analiza wybranych rozbłysków przedstawiona jest w Rozdz. 5, który jest centralną częścią rozprawy. Do dokładnej analizy wybrano 14 rozbłysków z datami ich występowania sięgającymi wstecz do 19 listopada 2020 i kończącymi się na dacie 20 grudnia 2021.

Część merytoryczną dysertacji doktorskiej finalizuje Rozdz. 6, w którym zawarto najważniejsze wnioski płynące z badań i zarysowano perspektywę działań naukowych mających na celu pogłębienie zagadnień poruszonych w niniejszej rozprawie.

1.2 Cele i motywacje badań

Według informacji zamieszczonej w dysertacji celem badań było poznanie zjawisk związanych z rozbłyskami słonecznymi, wykazującymi quasi-okresowe zmiany emisji w zakresie promieniowania rentgenowskiego z wykorzystaniem danych dostarczonych przez instrument STIX znajdujący się na pokładzie satelity Solar Orbiter. Jako że QPPs obserwowane są w więk-

szości rozbłysków, motywuje to do ich uwzględnienia w konstrukcji modeli fizycznych.

1.3 Podsumowanie

W podsumowaniu stwierdzam, że głównym wynikiem recenzowanej rozprawy doktorskiej jest analiza rozbłysków słonecznych obserwowanych instrumentem STIX znajdującym się na pokładzie satelity Solar Orbiter. W szczególności przeprowadzone zostały badania QPPs. Do analizy wybrano rozbłyski z minimum trzema pulsami promieniowania następującymi po sobie we względnie równych odstępach czasu. Obserwowane okresy mieściły się w przedziale 43 – 1355 s. Stwierdzono przy tym, że dłuższe okresy występują rzadziej niż krótsze. Spośród wielu zjawisk wykazujących QPPs wybrano 14, dla których przeprowadzono szczegółową analizę. Analiza ta pozwoliła zidentyfikować miejsca występowania zjawisk, określić ogólną konfigurację pola magnetycznego i wyznaczyć podstawowe parametry plazmy, która towarzyszyła obserwowanym QPPs. Przedłożone w niniejszej rozprawie doktorskiej wyniki stanowią istotny wkład Autorki do badań w dziedzinie rozbłysków słonecznych.

2 Uwagi merytoryczne

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

Na początku chciałbym zwrócić uwagę na bardzo obiektywne komentarze, które zamieszczone są w pracy. Dla przykładu na str. 24, 1 akapit, znaleźć można wzmiankę przyznającą ograniczenia obserwacyjne (np. rozdzielczość czasowa większa od 0.1 s).

Na stronie 26 wymienione są fale MHD będące źródłem QPPs. Wśród listy fal brakuje modu entropii. Mod entropii nie jest zwykłą falą, jako że

związany jest on tylko z zaburzeniami w gęstości masy i zaburzenia te nie poruszają się. Mod ten można wytworzyć poprzez zaburzenia ciśnienia, które w idealnym ośrodku hydrodynamicznym (bez pola magnetycznego) generują także fale akustyczne. Mod ten nie wydaje się jednak być istotnym w analizie danych i dlatego jego pominięcie tutaj wydaje się być w pełni uzasadnione.

Na str. 27, 2 linia powyżej równania (2.1), fraza "By taki układ był stabilny" powinna być zastąpiona "W stanie równowagi". Na tej samej stronie widnieje związek dyspersyjny (2.2), do którego dodałbym komentarz o istnieniu liczby falowej odcięcia k_c takiej, że dla $k < k_c$ mody są przeciekające i zanikają z czasem. Fakt ten może być istotny dla interpretacji danych obserwacyjnych - zanik sygnału może być spowodowany wygenerowaniem w czasie rozbłysku modów przeciekających, które tracą energię wskutek jej wycieku do otaczającego ośrodka. Dodatkowo, w związku dyspersyjnym brakuje czynnika $\omega(\omega^2 - k_z^2 C_A^2)$ odpowiadającego modowi entropii (ω) i fali Alfvéna ($\omega^2 - k_z^2 C_A^2$). Nie wydaje się to jednak mieć większego znaczenia w analizie danych.

Na str. 28 wprowadzono termin "mody globalne". Czy chodzi o fale stojące, dla których długość fal jest ustalona poprzez warunki panujące w stopach pętli a okres P wynika ze związku dyspersyjnego?

We wzorze (2.5) dla P_{kink} prędkość kink C_k powinna być zastąpiona prędkością fazową. Wzór ten dotyczy szybkich fal magnetoakustycznych. Tymczasem mody typu kielbaski i zmiyki są także obecne w wolnych falach magnetoakustycznych, w których, w przeciwieństwie do fal szybkich, zaburzone ciśnienie termiczne oscyluje w anty-fazie do zaburzonego ciśnienia magnetycznego. Fale powolne docierają więc do punktu detekcji wolniej niż fale szybkie modyfikując charakterystyki czasowe.

Na str. 29 w 1 akapicie frazę "kierunek propagacji tych fal stanowi wąski stożek" należałoby uzupełnić informacją, że dotyczy to ośrodka, dla którego $\beta \ll 1$, gdzie β oznacza współczynnik plazmowy wyrażający się ilorazem

ciśnienia gazu do ciśnienia magnetycznego. Dla β nie spełniającego tego warunku fale powolne i szybkie są silnie sprzężone i rozchodzą się w ośrodku quasi-izotropowo.

Na str. 29, zdanie "Równanie dyspersyjne pozwala wyróżnić jeszcze jeden charakterystyczny mod fali, który porusza się z prędkością Alfvéna wewnątrz cylindra.": warto jest zauważyć, że w związku dyspersyjnym (2.2) nie ma fali Alfvéna, podobnie jak i brak jest modu entropii. Mowa o tym wyżej.

Str. 75, 2 linia poniżej wyrażenia (4.5): ciekawi mnie, dlaczego współczynnik plazmowy β został oszacowany na większy od 1 - w koronie słonecznej w zasadzie $\beta < 1$.

Str. 148, 1 akapit dotyczący stojących modów kielbaski:

1. fraza "mody te charakteryzują się krótkimi okresami": informacja o tym, że ze względu na okres odcięcia długookresowe oscylacje typu kielbaski są przeciekające, byłaby wskazana;
2. do zdania "W przebadanej próbce tylko jeden rozbłysk, z 22 maja 2021 wykazywał malejącą amplitudę." dodałbym następujący komentarz: Brak zaniku amplitudy dla większości badanych rozbłysków może świadczyć o generacji fal poprzez rozciągłe/okresowe w czasie źródło, np. poprzez serię impulsów lub sygnał quasi-okresowy;
3. czy z racji zanikającej amplitudy wspomniany okres 10^3 s może odpowiadać modom wyciekającym?

Str. 149, 5 linia od dołu: w pracach Nakariakov i inni (2004), Kolotkov i inni (2021) widma falkowe dla szybkich fal magnetoakustycznych są typu kijanek i bumeranga. Czy podjęte były próby otrzymania widm falkowych z danych obserwacyjnych i czy wykazują one cechy podobne do tych zaobserwowanych w powyższych pracach?

Str. 153, ostatni akapit: przeprowadzona została bardzo ciekawa i merytoryczna analiza eliminująca lub wspierająca modele teoretyczne rozbłysków.

Podobnie materiał znajdujący się na str. 154 i zebrane informacje w Tab. 6.1 (jak i innych tabelach) zasługują na podkreślenie.

W podsumowaniu, powyższe drobne uwagi nie dotyczą jednak głównego nurtu pracy, którym było zebranie i analiza danych obserwacyjnych, a nie rozważania teoretyczne. Uwagi te nie są więc decydujące w ogólnej wysokiej ocenie przeprowadzonych badań.

3 Uwagi do strony edytorskiej

Tak obszerna i tematycznie rozległa (bo dotycząca aspektów obserwacyjnych i teoretycznych) praca napisana jest dobrze pod względem edytorskim. Usterki bądź drobne błędy edytorskie nie wpływają na moją wysoką ocenę merytoryczną dysertacji. Oto kilka przykładowych usterek edytorskich:

1. str. 15, 7 linia od dołu: rozbłysk Carringtona miał miejsce w 1859 r;
2. str. 22, 1 linia od dołu: z frazy "oscylujące szybkie fale biegnące" powinno być usunięte słowo "oscylujące", bowiem fale naturalnie związane są z oscylacjami plazmy;
3. str. 23, 3 linia od dołu: fraza "okres QPPs pozostaje niezmienny przez cały czas trwania obserwacji" wydaje się niezbyt trafna, bowiem okres oscylacji zgodnie z definicją QPPs musi ulegać zmianom w czasie. Jeśli przyjmiemy model Edwin i Roberts (1983, 1984), do punktu detekcji docierają najpierw fale najszybsze, a potem dopiero ich wolniejsze odpowiedniki, na ogół o innych okresach falowych;
4. w pracy można znaleźć dość dużo drobnych błędów edytorskich, takich jak np. na str. 17, 1 linia od dołu ("jaki i przestrzenny"), str. 23, 1 linia od góry ("wystąpienia rozbłysku"), str. 25, podpis pod Rys. 2.2 ("Numeracja ta zgadza z numeracją");

5. str. 29, 10 linia od dołu: z frazy "zwana potocznie falą Alfvéna" powinno być usunięte "potocznie".

4 Wnioski końcowe

Rozprawę doktorską mgr Żanety Szaforz uważam za bardzo cenny wkład w poznanie problemów związanych z badaniem zjawisk QPPs towarzyszącym rozbłyskom słonecznym. Rozprawa zawiera elementy nowatorskie dotyczące zarówno rozwiązań natury obserwacyjnej jak i analizy danych. Chciałbym dodać, że Autorka cytuje 2 swoje publikacje, choć ogólna lista publikacji Doktorantki według NASA ADS Abstract Form jest znacznie dłuższa, a dołączona lista publikacji zawiera 22 prace naukowe i 2 rozdziały w monografiach. Uchybienia edytorskie występujące w tak obszernej dysertacji doktorskiej nie wpływają na jej wysoki poziom.

Na podstawie przedłożonej mi rozprawy doktorskiej stwierdzam, że mgr Żaneta Szaforz posiada dorobek naukowy, który spełnia wymagania stawiane przez ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym osobom ubiegającym się o stopień doktora. Stawiam więc wniosek o dopuszczenie mgr Żanety Szaforz do dalszych etapów przewodu doktorskiego oraz proszę o **wyróżnienie** recenzowanej rozprawy doktorskiej.

Krzysztof Murawski

