

SEKRETARIAT NAUKOWY INSTYTUT GEOFIZYKI PAN	
WPLYNEŁO	
Na 13.04.2019	
Nr dz.	Zał.
Ref.	

Prof. Dr hab. Grzegorz Łukaszewicz
Wydział Matematyki Informatyki i Mechaniki
Uniwersytetu Warszawskiego
Ul. Banacha 2, 02-097 Warszawa

OCENA
rozprawy doktorskiej
pt. *Wpływ oporności elektrycznej i przewodnictwa cieplnego
na krótkofalową niestabilność wyporności magnetycznej*
w przewodzie doktorskim mgr. Marka Jerzego Grądzkiego

Motywacja podjętych badań. Motywacją do rozważań stanowiących rozprawę doktorską jest zagadnienie opisu niestabilności wyporności magnetycznej za pomocą równań magnetohydrodynamiki we wnętrzu Słońca. W szczególności, rozprawa jest kontynuacją i rozszerzeniem badań podjętych wcześniej min. przez promotora rozprawy (ref. [63]) na przypadek uwzględniający dyfuzję magnetyczną i termiczną, efekty występujące w tachoklinie słonecznej. Oszacowanie wpływu tych ostatnich na niestabilność magnetyczną jest istotnym problemem w badaniu dynamiki pola magnetycznego Słońca, związanym też prawdopodobnie z dynamiką oscylacji pola magnetycznego na powierzchni Ziemi.

Cel rozprawy. Zasadniczym celem rozprawy jest potwierdzenie, analityczne i numeryczne, ciekawej hipotezy badawczej, mówiącej, że oporność elektryczna płynu oraz jego przewodnictwo cieplne powodują ustalanie się skończonej horyzontalnej liczby falowej najszybciej narastającego modu krótkofalowej niestabilności wyporności magnetycznej. Taki rezultat nie jest możliwy w poprzednio rozważanych modelach płynu idealnego. Autor rozprawy osiągnął swój cel przy założeniu słabej dyfuzji termicznej i magnetycznej. Dzięki temu założeniu można było zastosować aparat analityczny rozwinięć asymptotycznych względem obu bezwymiarowych współczynników dyfuzji oraz odwrotności liczby falowej, w szczególności do badania podstawowego związku dyspersyjnego, relacji między współczynnikiem narastania niestabilności i wysokością w rozważanej warstwie.

Przy założeniu konkretnej relacji między obu współczynnikami dyfuzji, zbadane zostały dwa różne jakościowo przypadki, mianowicie, odpowiadające modom dwu i trójwymiarowym oraz przedstawiona została procedura identyfikacji najbardziej niestabilnego modu dla obu typów zaburzeń. Przedyskutowano także zasadność badania zaburzeń dwuwymiarowych w zastosowaniu do dynamiki w tachoklinie słonecznej.

Zawartość i struktura pracy. Rozprawa składa się ze Wstępu, pięciu rozdziałów głównej części, rozdziału podsumowującego wyniki, czterech dodatków, Bibliografii oraz Spisu rysunków i Spisu tablic. Liczy w sumie 132 strony.

Wstęp (Rozdział 1) zawiera sformułowanie problemu fizycznego, odniesienia do literatury przedmiotu, motywacje podjęcia badań, sformułowanie głównej tezy rozprawy oraz

schemat rozprawy.

W rozdziale drugim zdefiniowane są podstawowe pojęcia rozważane w rozprawie, w szczególności pojęcie wyporności magnetycznej i jej niestabilności oraz, na przykładzie prostego modelu rurki magnetycznej, omówiony jest wpływ rozmaitych czynników fizycznych na rozważaną wyporność. Przedstawiono też pokrótce rozwój badań nad niestabilnością wyporności magnetycznej (dalej, w skrócie, MBI) w kontekście badania gwiazd i planet.

Trzeci rozdział zawiera wyniki analityczne i numeryczne w zakresie MBI dla modelu bez uwzględnienia dyfuzji magnetycznej i cieplnej, uzyskane w ref. [63]. Model ten i uzyskane dla niego rezultaty są punktem odniesienia dla oryginalnych wyników autora rozprawy, przedstawionych w trzech kolejnych rozdziałach.

W rozdziałach czwartym i piątym badane są uproszczone modele, z dyfuzją magnetyczną, ale bez dyfuzji cieplnej (w rozdz. 4) i z dyfuzją cieplną, ale bez dyfuzji magnetycznej (w rozdz. 5). Badane są zatem dwa różne warianty, pozwalające zrozumieć wpływ uwzględnienia w modelu tylko jednej z dwóch dyfuzji. Ograniczono się tu do rozważenia zaburzeń dwuwymiarowych.

Główne wyniki rozprawy otrzymane dla pełnego modelu znajdują się w rozdziale szóstym, w którym zbadano łączny wpływ obu dyfuzji na MBI.

Podstawowe wyniki dotyczą, w szczególności, dynamiki krótkofalowej liniowej niestabilności wyporności magnetycznej dla dwu i trójwymiarowych zaburzeń rozważanego stanu bazowego. Znaleziono skalowania liczb falowych dla najbardziej niestabilnych módów, a także ich postać i strukturę. Otrzymane rezultaty analityczne okazały się zgodne z wynikami symulacji numerycznych. Rezultaty te zilustrowano w kontekście rzeczywistego układu fizycznego tachokliny słonecznej.

Rozdział siódmy zawiera podsumowanie i komentarze do uzyskanych wyników, jak również sugestie dalszych badań rozważanego modelu w ramach konkretnych badań astrofizycznych.

Metody matematyczne użyte w pracy to przede wszystkim osobliwy rachunek zaburzeń Rayleigha–Schrödingera i metody warstwy granicznej. Dobrym pomysłem autora rozprawy było przeniesienie części rachunków do dodatków, dzięki czemu zasadniczy schemat postępowania przedstawiony w głównej części rozprawy nie został zaciemniony żmudnymi obliczeniami pomocniczymi.

Rozprawa zawiera 34 wykresy, przedstawiające rozmaite relacje między badanymi wielkościami dla wybranych wartości parametrów oraz 4 tablice. Bibliografia zawiera 83 pozycje.

Ocena rozprawy. Rozprawa stoi na bardzo wysokim poziomie merytorycznym. Nawiązuje do aktualnych publikacji w zakresie rozważanego nurtu badań, zarówno teoretycznych, w których rozważa się sam model zjawiska MBI, jak i publikacji, w których wyniki te są odniesione do zastosowań astrofizycznych. Rozważana tematyka należy do głównego nurtu badań w obu tych aspektach. Autor rozprawy wykazał w niej dogłębną znajomość przedmiotu podjętych badań, a także dużą biegłość w zakresie stosowanych narzędzi analizy matematycznej. Rozważany problem jest trudny pod względem analitycznym poprzez

swoją złożoność. Został potraktowany w dogłębny sposób, uwzględniający duży zakres parametrów problemu, których wartości liczbowe czy asymptotyczne mają istotne znaczenie dla dynamiki badanego zagadnienia. Rozprawa ma klarowną, logiczną strukturę, jest bardzo starannie przygotowana. Jest napisana jasnym, swobodnym językiem, świadczącym o dużej kulturze autora również w warstwie językowej.

W moim odczuciu jednym z najciekawszych wyników pracy jest określenie zakresu wartości parametrów układu, poprzez nierówność wyrażoną przy pomocy tzw. funkcji współczynnika narastania, dla którego obecność obu typów dyfuzji w układzie jest kluczowa dla ustalenia długości fal najbardziej niestabilnego modu. Jest to wynik niezwykle interesujący, gdyż oporność ohmowa jest z założenia aż o 5 rzędów wielkości słabsza od dyfuzji termicznej, jednak w pewnych warunkach okazuje się konieczna dla uzyskania pełnego dynamicznego obrazu omawianej niestabilności. Ponadto wszystkie uzyskane skalowania zostały skonfrontowane z fizycznie "dopuszczalnymi" długościami fal zaburzeń w obszarze tachokliny Słońca, co w sposób dość jednoznaczny pozwoliło zawęzić obszar możliwych typów zaburzeń do dwóch podstawowych rodzajów. Wyniki pracy zostały opublikowane w czasopiśmie o wysokiej renomie, *Astrophysical Journal Supplement Series* (współczynnik impact factor: 8.955, punkty ministerialne: 50).

Otrzymane rezultaty przedstawiają sobą początkową fazę bogatego programu naukowego, naszkicowanego w rozdziale podsumowującym. Należy do niego np. zbadanie wpływu rotacji układu oraz obecności przepływu ścinającego na rozważaną stabilność. Autor zdaje sobie dobrze sprawę, że pełne zbadanie problemu wymaga rozważenia zagadnienia stabilności nieliniowej. Te otwarte zagadnienia wydają się bardzo trudne z analitycznego punktu widzenia.

Uwagi krytyczne. Nie mam uwag krytycznych co do samej rozprawy. Przydałby się jednak komentarz dotyczący przypadku dużych dyfuzji oraz szerszych motywacji przyjętych skalowań.

Wniosek końcowy. Przedstawiona rozprawa doktorska Pana Marka Grądzkiego stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w zakresie magnetohydrodynamiki i jej zastosowań w astrofizyce. Doktorant wykazał w niej dogłębną znajomość przedmiotu badań i dużą swobodę w użyciu metod badania stabilności do rozwiązania rozważanego zagadnienia. Rozprawa ma logiczną i klarowną strukturę, jest napisana jasnym językiem.

W mojej ocenie przedstawiona rozprawa spełnia wszystkie wymogi stawiane rozprawie doktorskiej (zgodnie z wymaganiami zawartymi w paragrafie 6 ust. 3, 4, 5 i 6 Rozporządzenia Ministra nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 30 października 2015 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodach doktorskich, etc.) Tym samym wnoszę o dopuszczenie Pana mgr. Marka Grądzkiego do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia naukowego doktora.

Z uwagi na wyżej przytoczone argumenty (zawarte w części "ocena rozprawy"), wnoszę o wyróżnienie rozprawy Pana mgr. Marka Grądzkiego.

Grzegorz Łukaszewicz

Warszawa, dn. 12 kwietnia, 2018 r.

swój złożoność. Został potraktowany w dogłębny sposób, uwzględniający duży zakres parametrów problemu, których wartości liczbowe czy asymptotyczne mają istotne znaczenie dla dynamiki badanego zagadnienia. Rozprawa ma klarowną, logiczną strukturę, jest bardzo starannie przygotowana. Jest napisana jasnym, swobodnym językiem, świadczącym o dużej kulturze autora również w warstwie językowej.

W moim odczuciu jednym z najciekawszych wyników pracy jest określenie zakresu wartości parametrów układu, poprzez nierówność wyrażoną przy pomocy tzw. funkcji współczynnika narastania, dla której obecność obu typów dyfuzji w układzie jest kluczowa dla ustalenia długości fal najbardziej niestabilnego modu. Jest to wynik niezwykle interesujący, gdyż oporność ohmowa jest z założenia aż o 5 rzędów wielkości słabsza od dyfuzji termicznej, jednak w pewnych warunkach okazuje się konieczna dla uzyskania pełnego dynamicznego obrazu omawianej niestabilności. Ponadto wszystkie uzyskane skalowania zostały skonfrontowane z fizycznie "dopuszczalnymi" długościami fal zaburzeń w obszarze tachokliny Słońca, co w sposób dość jednoznaczny pozwoliło zawęzić obszar możliwych typów zaburzeń do dwóch podstawowych rodzajów. Wyniki pracy zostały opublikowane w czasopiśmie o wysokiej renomie, *Astrophysical Journal Supplement Series* (współczynnik impact factor: 8.955, punkty ministerialne: 50).

Otrzymane rezultaty przedstawiają sobą początkową fazę bogatego programu naukowego, naszkicowanego w rozdziale podsumowującym. Należy do niego np. zbadanie wpływu rotacji układu oraz obecności przepływu ścinającego na rozważaną stabilność. Autor zdaje sobie dobrze sprawę, że pełne zbadanie problemu wymaga rozważenia zagadnienia stabilności nieliniowej. Te otwarte zagadnienia wydają się bardzo trudne z analitycznego punktu widzenia.

Uwagi krytyczne. Nie mam uwag krytycznych co do samej rozprawy. Przydałby się jednak komentarz dotyczący przypadku dużych dyfuzji oraz szerszych motywacji przyjętych skalowań.

Wniosek końcowy. Przedstawiona rozprawa doktorska Pana Marka Grądzkiego stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w zakresie magnetohydrodynamiki i jej zastosowań w astrofizyce. Doktorant wykazał w niej dogłębną znajomość przedmiotu badań i dużą swobodę w użyciu metod badania stabilności do rozwiązania rozważanego zagadnienia. Rozprawa ma logiczną i klarowną strukturę, jest napisana jasnym językiem.

W mojej ocenie przedstawiona rozprawa spełnia wszystkie wymogi stawiane rozprawie doktorskiej (zgodnie z wymaganiami zawartymi w paragrafie 6 ust. 3, 4, 5 i 6 Rozporządzenia Ministra nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 30 października 2015 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodach doktorskich, etc.) Tym samym wnoszę o dopuszczenie Pana mgr. Marka Grądzkiego do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia naukowego doktora.

Z uwagi na wyżej przytoczone argumenty (zawarte w części "ocena rozprawy"), wnoszę o wyróżnienie rozprawy Pana mgr. Marka Grądzkiego.

Grzegorz Łukaszewicz
Grzegorz Łukaszewicz

Warszawa, dn. 12 kwietnia, 2018 r.