



Wrocław, 10 września 2019 roku

prof. dr hab. Paweł Rudawy
prof. zwyczajny UWr
Instytut Astronomiczny Uniwersytetu Wrocławskiego
ul. Kopernika 11, Wrocław

**Recenzja rozprawy doktorskiej magistra Dariusza Wójcika
pt. „JOANNA – dwupłynowy model numeryczny
częściowo zjonizowanej atmosfery Słońca”**

Pan magister Dariusz Wójcik przygotował rozprawę doktorską zatytułowaną „JOANNA – dwupłynowy model numeryczny częściowo zjonizowanej atmosfery Słońca” pod kierunkiem prof. dr hab. Krzysztofa Murawskiego w Zakładzie Astrofizyki i Teorii Grawitacji Instytutu Fizyki na Wydziale Matematyki, Fizyki i Informatyki Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie. Rozprawa jest datowana na rok 2019.

Rozprawa doktorska magistra Dariusza Wójcika składa się z pięciu numerowanych rozdziałów tekstu ciągłego oraz rozdziału szóstego, na który składają się przedruki sześciu prac opublikowanych przez doktoranta wraz z zespołami współautorów o różnorodnym składzie. Rozprawa zakończona jest spisem literatury cytowanej w rozdziałach od pierwszego do piątego, bez literatury cytowanej w opublikowanych artykułach.

Pierwszy rozdział pracy, zatytułowany „Wstęp”, zawiera bardzo skrótowy opis najbardziej podstawowych własności Słońca. Wkradły się tam pewne nieścisłości merytoryczne, omówione w rozdziale „Ocena redakcji rozprawy doktorskiej...” niniejszej recenzji, jednak są one nieistotnych dla ogólnej oceny wartości naukowej rozprawy.

W tym samym rozdziale doktorant wskazuje, że podstawowym problemem badawczym, który zmotywował go do przeprowadzenia badań przedstawionych w ramach rozprawy była chęć sprawdzenia, czy uwzględnienie procesów oddziaływania cząstek naładowanych w plazmie słonecznej, w tym w plazmie tylko częściowo zjonizowanej, modelowane przy użyciu przygotowanego przez niego nowego, zaawansowanego dwupłynowego kodu numerycznego pozwoli lepiej wyjaśnić naturę procesów globalnego nagrzewania korony słonecznej. Podjęcie przez doktoranta właśnie takiej tematyki badań należy ocenić bardzo wysoko, gdyż zrozumienie własności możliwych mechanizmów globalnego grzania korony słonecznej, prowadzące do zbudowania spójnej teorii grzania korony, jest jednym z bardziej istotnych aktualnych problemów współczesnej heliofizyki, a badania tego problemu, zarówno obserwacyjne jak i teoretyczne, są obszarem niezwykle ożywionej dyskusji naukowej. Jednocześnie należy podkreślić, iż ze względu na

ograniczenia obserwacyjne, wiele z dyskutowanych procesów musi być badana wyłącznie właśnie za pomocą symulacji numerycznych.

W rozdziale drugim doktorant przedstawia syntetyczny opis metod numerycznego modelowania plazmy: model kinetyczny, model oparty o przybliżenia kwazicząsteczkowe, przybliżenie MHD by wreszcie przedstawić modele dwupłynowe. Rozdział ten stanowi krótkie, ale kompetentne i w zupełności wystarczające wprowadzenie czytelnika rozprawy w tematykę modelowania dwupłynowego plazmy słonecznej, wskazuje na wysoki poziom kompetencji doktoranta w tej dziedzinie.

W rozdziale trzecim doktorant zawarł ponownie krótki opis zmienności temperatury plazmy w spokojnej atmosferze Słońca oraz zaskakująco krótki opis (liczący zaledwie 24 linijki tekstu!) wybranych cech przygotowanego przez siebie dwupłynowego modelu numerycznego JOANNA plazmy częściowo zjonizowanej, będącego, jak już wspomniano, formalnym podmiotem rozprawy. Niestety, z podanego opisu wynika jedynie, że program ma budowę modułową i kod równoległy, który „*pozwala na rozwiązanie opisanych w poprzednim rozdziale [tj. w rozdziale drugim] równań dwupłynowych*” oraz „*zawiera całą niezbędną fizykę z punktu widzenia atmosfery Słońca*”. Nie zostało explicite podane, które procesy doktorant uwzględnił w swoim kodzie ani w jaki sposób. W opisie doktorant stwierdził także, iż „*kod został przetestowany standardowymi testami dla HD i MHD, które potwierdziły, że kod rozwiązuje równania poprawnie*”, ale nie zamieścił żadnych informacji ani o testach, ani o sposobach potwierdzenia poprawności działania kodu. Dodatkowe informacje na temat kodu JOANNA można znaleźć w pracy nr. 6 (tu i dalej numery prac wg. *Listy artykułów* ze strony 33 rozprawy): kod JOANNA jest w stanie wyliczyć strumień energii cieplnej powstającej w wyniku zderzeń cząstek naładowanych i neutralnych, straty promieniste materii optycznie grubej oraz emisję materii optycznie cienkiej. Nie jest wprost podane, jak rozwiązany jest np. problem przewodnictwa cieplnego, prawdopodobnie współczynnik przewodnictwa cieplnego jest izotropowy. Reasumując, ponieważ kod numeryczny JOANNA jest podmiotem dyskutowanej dysertacji oraz podstawowym narzędziem wykorzystanym przez doktoranta i jego współautorów do uzyskania wyników przedstawionych w czterech z sześciu prac stanowiących podstawę doktoratu, tak zdawkowe jego opisanie wydaje się istotnym mankamentem.

W rozdziale czwartym autor pokrótce streścił zagadnienia badawcze, metody oraz wyniki badań przedstawionych w sześciu publikacjach stanowiących podstawę doktoratu, które to publikacje zostały omówione nieco dalej.

Rozdział piąty rozprawy zawiera zebrane jeszcze raz w skróconej formie podstawowe wyniki zaprezentowanych badań oraz podsumowanie wyników całej, kilkuletniej pracy, przy czym doktorant wyraża (w pełni uprawnioną) nadzieję, że dalsze badania prowadzone przy użyciu kodu JOANNA mogą wnieść istotny wkład w badania fizyki atmosfery Słońca, w tym w rozwiązanie problemu globalnego grzania korony słonecznej. Rozprawę kończy nieco enigmatyczne zdanie „*Dotychczas uzyskane wyniki dają perspektywę badań numerycznych i otwierają drzwi do niezbadanych obszarów fizyki*”, będące z pewnością chwalebna manifestacją chęci prowadzenia dalszych rozległych i nowatorskich badań.

Zasadniczą część merytoryczną rozprawy autor zawarł w rozdziale szóstym, w którym zamieścił przedruki sześciu prac opublikowanych wraz z zespołami współautorów w najwyższej klasy tradycyjnych oraz on-line czasopismach: Solar Physics (IF=2.405), The Astrophysical Journal (IF=5.58), Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (IF=5.231), Nature Astronomy

(IF=10.5) oraz Scientific Reports (IF=4.011). Wszystkie prace są wielo-autorskie, w trzech pracach opublikowanych w Sol.Phys., MNRAS oraz w ApJ doktorant jest pierwszym autorem, w przypadku pozostałych prac kolejność autorów nie jest alfabetyczna i tak: w pracy nr. 2 doktorant jest 8 spośród 9 współautorów, w pracy nr. 3 doktorant jest 4 spośród 9 współautorów i w pracy nr. 5 doktorant jest 4 spośród 10 współautorów. Opiekun naukowy doktoratu przekazał recenzentowi 13 oświadczeń współautorów (spośród grona 16 współautorów występujących na listach autorów wszystkich sześciu omawianych prac), które jasno wskazują na istotny wkład doktoranta w powstanie wszystkich prac, a w przypadku prac od nr. 3 do nr. 6 wręcz kluczowy wkład w postaci przygotowania kodu obliczeniowego JOANNA, udziału w analizie naukowej wyników czy przygotowaniu publikacji. Bardzo istotną rolę doktoranta w postaniu prac nr. 2 i nr. 5 podkreśla także wprost w swoim liście prof. J.G. Doyle z Armagh Observatory and Planetarium w Irlandii Północnej.

Reasumując, należy uznać, że wkład doktoranta w przeprowadzanie badań symulacyjnych będących tematem publikacji wchodzących w skład jego rozprawy doktorskiej był w przypadku trzech publikacji wiodący, a w przypadku pozostałych publikacji co najmniej bardzo znaczący. Ogólnie można stwierdzić, iż dorobek doktoranta w zakresie ilości publikacji w czasopiśmie recenzowanych jest bardzo wysoki, świadczy o aktywności badawczej i aktualności przeprowadzanych badań.

Ponieważ wszystkie publikacje wchodzące w skład rozprawy zostały opublikowane w najwyższej klasy tradycyjnych oraz on-line czasopiśmie referowanych, nie ma potrzeby przeprowadzać tutaj ich ponownej analizy merytorycznej i metodologicznej, zostaną poniżej jedynie krótko opisane i skomentowane.

W pracach nr. 1 i nr. 2 doktorant wraz ze współpracownikami analizowali rozchodzenie się skrętnych fal Alfvena w osiowo-symetrycznych rurach słonecznego pola magnetycznego oraz ich wkład do bilansu energii globalnego grzania korony słonecznej. Wykazano, że strumień energii niesionej przez tego typu fale wzdłuż typowej rury magnetycznej może sięgać 1 KW/m^2 , a więc potencjalnie mogą wносить istotny wkład w bilans energii korony.

W pracy nr. 3 opublikowano wyniki 2-wymiarowego modelowania procesu formowania i propagacji spikul chromosferycznych przy zastosowaniu kodu dwupłynowego JOANNA, przy czym jako czynnik inicjujący powstanie spikuli zastosowano lokalny impuls ciśnienia w górnej chromosferze. Uzyskano ogólną zgodność cech spikul słonecznych i modeli, przy czym w dynamice plazmy spikul decydującą rolę zdają się odgrywać narastające w nich fale uderzeniowe. Badania dynamiki plazmy w spikulach chromosferycznych są bardzo istotnym zagadnieniem badawczym, gdyż spikule mogą być podstawowym kanałem przepływu materii pomiędzy wnętrzem a atmosferą Słońca, a więc grają kluczową rolę w zrozumieniu fizyki całej korony słonecznej a nawet także wiatru słonecznego.

W pracy nr. 4 doktorant wraz ze dwoma współautorami zbadali propagację fal akustycznych w spokojnej, lokalnie tylko częściowo zjonizowanej, atmosferze Słońca, modelując ewolucję atmosfery za pomocą dwupłynowego modelu numerycznego autorstwa doktoranta. Wykazano, że fale o częstotliwościach wyższych niż częstotliwość obciążenia mogą przedostawać się z dolnej atmosfery, gdzie są wzbudzane (w modelu poprzez lokalne pulsy ciśnienia), do korony. Wynik jest kolejnym istotnym wkładem w badania bilansu energetycznego korony słonecznej.

W pracy nr. 5 przeanalizowano procesy przenoszenia energii w pętach magnetycznych poprzez tzw. pseudo-szoki. W badaniach wykorzystano dwupłynowy model numeryczny JOANNA autorstwa doktoranta, i wykazano, że tego typu fale mogą przenosić strumień energii rzędu 10^3 W/m², a przenoszeniu energii towarzyszy również strumień masy rzędu 10^{-5} kg/m²/s, co jak wskazał doktorant, może istotnie przyczyniać się do uzupełniania bilansu masy w koronie. Uzyskane wyniki pracy są bardzo interesujące, aczkolwiek dalszej dyskusji i badań wymaga problem przepływu masy i energii z wnętrza rury magnetycznej do otwartej korony.

W pracy nr. 6 doktorant wraz ze współautorami podjęli bardzo ciekawe badania mechanizmu generacji składowej szybkiej wiatru słonecznego. Wykorzystując własny kod JOANNA doktorant przeprowadził 2.5-wymiarowe modelowanie wypływu plazmy, wykazując, że wzbudzenia generowane przez granulację mogą prowadzić do powstawania wypływu plazmy o prędkościach od 10 do 100 km/s, a warstwa źródłowa wiatru może rozciągać się na wysokości od 5 do 10 Mm nad fotosferą. Przy okazji zostało wykazane, że kod dwupłynowy JOANNA jest narzędziem o szerokim zakresie zastosowań.

Reasumując, należy uznać, iż przygotowanie kodu dwupłynowego JOANNA, który wykazał swoją użyteczność podczas badań naukowych zwieńczonych publikacją ich wyników w najlepszych, starannie recenzowanych czasopismach astronomicznych jest istotnym osiągnięciem naukowym doktoranta, świadczy o jego znajomości zarówno procesów fizycznych zachodzących w plazmie atmosfery słonecznej jak i problemów związanych z ich numerycznym modelowaniem.

Ocena redakcji rozprawy doktorskiej magistra Wójcika

Formalny układ rozprawy, struktura podziału treści, kolejność rozdziałów są zgodne ze standardowymi wymaganiami i zwyczajami mającymi zastosowanie przy przygotowaniu rozpraw doktorskich.

W przypadku pięciu pierwszych rozdziałów pracy, z wyłączeniem podrozdziału 3.2 „Kod numeryczny...” zawartość merytoryczna i logika wyводу nie budzą zastrzeżeń. Natomiast, jak to już wspomniano wcześniej, istotnym mankamentem rozprawy jako tekstu kompletnego i w pełni omawiającego rozważaną tematykę jest pominięcie przez doktoranta szczegółowego opisu własności kodu JOANNA.

Najważniejszą częścią rozprawy jest rozdział szósty, na który składają się lista oraz przedruki sześciu prac opublikowanych przez doktoranta wraz z zespołami współautorów. W wypadku każdej z tych prac, stanowiących zamknięte całości, można stwierdzić, że są one kompletne zarówno pod względem postawionych tez jak i merytorycznych elementów dyskursu naukowego.

Podmiotem formalnym rozprawy mgr Wójcika jest kod numeryczny JOANNA. „Ustawa o stopniach naukowych...” dopuszcza, że: (...) *rozprawa doktorska może mieć formę spójnego tematycznie zbioru artykułów opublikowanych lub przyjętych do druku w czasopismach naukowych* (...). Dlatego też, pomimo iż spośród sześciu publikacji wchodzących w skład rozprawy, prace numer nr. 1 i nr. 2 nie zostały przygotowane przy użyciu kodu JOANNA lecz przy użyciu innych kodów numerycznych (PLUTO w pracy nr. 1 i FLASH w pracy nr. 2), to wszystkie sześć prac dotyczy spójnych tematycznie badań zjawisk falowych w atmosferze Słońca. Prace te wchodzą w skład istotnego i szerokiego (jak na początkującego naukowca) dorobku doktoranta, świadczą

również o bogatej i dogłębnej jego wiedzy na temat działania i własności innych kodów numerycznych wykorzystywanych m.in. do modelowania zjawisk w atmosferze Słońca.

Rozprawa została zredagowana umiarkowanie starannie pod względem językowym. Dla przykładu w pierwszym podrozdziale pierwszego rozdziału rozprawy (strony numer 7 i 8 rozprawy), znajdujemy: *Naszej Galaktyce* zamiast naszej Galaktyce, *wszechświat* zamiast Wszechświat, *Kelwinów* zamiast kelwinów, *Zostało ono sklasyfikowane jako typ spektralny G2V* zamiast np. Słońce jest gwiazdą typu spektralnego G2V czy też nieco pokraczne zdanie „*czy energia wytwarzana ciepła podczas zderzenia pomiędzy cząstkami neutralnymi i zjonizowanymi jest wystarczająca, aby ogrzać chłodne części atmosfery*”.

W tym samym pierwszym podrozdziale pierwszego rozdziału autor istotnie zawyżył wartość temperatury minimalnej w najniższych warstwach atmosfery Słońca, określając ją na 5-6 tysięcy kelwinów (powinno być znacznie poniżej 4000 K). W następnym zdaniu autor stwierdza, że „w koronie temperatura gwałtownie rośnie i osiąga już kilka milionów Kelwinów” (powinno być 1-2 mln K) co mogłoby być niepokojące pod względem poprawności zastosowanego w badaniach modelu atmosfery słonecznej. Jednakże, informacje na ten sam temat podane ponownie w ważnym podrozdziale 3.1 (*Budowa atmosfery Słońca*) są poprawne. Oznacza to, że wspomniane błędy merytoryczne we wstępie do rozprawy nie miały wpływu na prezentowane wyniki naukowe i zapewne są jedynie skutkiem pośpiechu i/lub nadmiernego zaufania doktoranta do własnej pamięci.

Konkluzja

Wyniki badań przedstawione przez doktoranta są istotne naukowo a przygotowany przez doktoranta kod dwupłynowy JOANNA jest wszechstronnym narzędziem badawczym, które w miarę rozwoju i doskonalenie będzie mogło być wykorzystywane dla rozwiązywania szeregu problemów naukowych, metodyka badań zaprezentowanych w opublikowanych artykułach nie budzi zastrzeżeń. Wskazane mankamenty redakcji rozprawy, w szczególności brak szczegółowego opisu własności kodu JOANNA, nie umniejszają wartości samych wyników naukowych osiągniętych przez doktoranta.

Dlatego też stwierdzam, że rozprawa doktorska magistra Dariusza Wójcika pt. „JOANNA – dwupłynowy model numeryczny częściowo zjonizowanej atmosfery Słońca” w pełni odpowiada warunkom określonym w artykule 13 „Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” z dnia 14 marca 2003 roku (tekst jednolity, Dz.U. R.P. poz. 1789 z dnia 27 września 2017 r.) i dlatego też wnoszę o dopuszczenie magistra Dariusza Wójcika do przeprowadzenia publicznej obrony jego rozprawy.

Prof. dr hab. Paweł Rudawy
Instytut Astronomiczny Uniwersytetu Wrocławskiego

