Kraków 15.11.2022

dr hab. Grzegorz Michałek

Obserwatorium Astronomiczne

Uniwersytetu Jagiellońskiego

Recenzja rozprawy doktorskiej Pani magister Michaliny Litwickiej

Tytuł: " Analiza i modelowanie drobnoskalowych pojaśnień w atmosferze Słońca obserwowanych przez instrument IRIS w zakresie ultrafioletowym "

Promotor: dr hab. prof. UWr Arkadiusz Berlicki

Praca wykonana w Instytucie Astronomicznym Uniwersytetu Wrocławskiego

Głównym celem omawianej pracy doktorskiej było zbadanie drobnoskalowych struktur (rzędu 1 sekundy łuku) obserwowanych w atmosferze słonecznej na falach UV. Przeprowadzone badania składają się z dwóch zasadniczych części: szczegółowej analizy 5 „wybuchów" ultrafioletowych, zarejestrowanych w okolicach obszaru aktywnego AR 11850 z 24.09.2013 oraz statystycznej analizy ponad 2000 zjawisk drobnoskalowych w okresie 2013-2018. Prace te były oparte na obserwacjach prowadzonych przez satelitę IRIS.

Dysertacja składa się z ośmiu rozdziałów, które zostały poprzedzone krótkim wstępem. W sumie praca liczy 198 stron. Struktura pracy jest spójna, a układ treści jest przejrzysty.

W pierwszym rozdziale Autorka szeroko omówiła stan wiedzy na temat zjawisk drobnoskalowych w atmosferze słonecznej (1.2). Przegląd ten zaczyna się od dobrze znanych (zdefiniowanych w świetle widzialnym) bomb Ellermana, a kończy się na zjawiskach odkrytych dzięki obserwacjom satelitarnym na wyższych pasmach energetycznych. Jest to bardzo interesujące kompendium wiedzy, bardzo dobrze wprowadzające czytelnika do zagadnień rozważanych w dalszej części pracy.

Drugi składa się z kilku podrozdziałów, charakteryzujących instrument obserwacyjny wykorzystany w badaniu linii widmowych, właściwości linii spektralnych służących do definiowania drobnoskalowych struktur oraz danych obserwacyjnych uzyskanych z okolicy badanego obszaru aktywnego. Dane te pozwoliły na wyodrębnienie kilkudziesięciu drobnoskalowych pojaśnień w wybranych liniach widmowych. Na podstawie charakterystycznych

profili linii widmowych, Autorka wyodrębniła trzy typy pojaśnień. Spośród tych kilkudziesięciu zjawisk do dalszej analizy zostały wybrane jedynie 5 pojaśnień. Wybrane zjawiska miały inny kształt profili linii widmowych, natężenie, szerokości profili oraz asymetrię, ale można je było zakwalifikować do tych trzech podstawowych klas. Niestety, nie zostało dokładnie wyjaśnione, dlaczego akurat te zjawiska poddane zostały szczegółowym badaniom (dlaczego typ 3 reprezentuje tylko jedno zjawisko?). Ostatnie dwa podrozdziały przedstawiają charakterystykę profili linii widmowych dla tych 5 zjawisk, a jej podsumowanie znajduje się w Tabeli 2.3.

Kolejne rozdział (3) skupia się na problematyce związanej z modelowaniem linii Mg II. Biorąc pod uwagę warunki panujące w chromosferze (częściowo w obszarze przejściowym), Autorka przy modelowaniu widma Mg II przyjęła założenie o częściowej redystrybucji emitowanych fotonów oraz braku równowagi termodynamicznej. Dodatkowo założono, że drobnoskalowe pojaśnienia w atmosferze słonecznej można potraktować jako gorące punkty (hot-spots). W celu odtworzenia kształtu linii Mg II Pani Litwicka wykorzystała procedury opracowane przez prof. Heinzla oraz siatkę modeli (Berlicki i Heinzel 2014) opartą na 27 lokalizacjach potencjalnej struktury oraz 9 różnych modelach wzrostu temperatury (daje to 243 dyskretnych modeli drobnoskalowych struktur o różnej lokalizacji oraz różnych profilach temperaturowych). Brakuje głębszego uzasadnienia zastosowanej dyskretnej siatki parametrów wstępnych użytych w modelowaniu linii.

Od rozdziału 4 zaczyna się opis badań własnych przeprowadzonych przez Panią Litwicką. Profile linii Mg II, otrzymane przy pomocy tych dyskretnych modeli, zostały porównane z rzeczywistymi liniami magnezu. Najlepsze dopasowania otrzymano niezależnie dla różnych parametrów: separacji maksimów emisyjnych, natężenia maksimów emisyjnych, natężenia w centrum linii, natężenia zintegrowanego, natężenia długości fali +1A od centrum linii. Dokonano też wyboru najlepszych teoretycznych profili linii widmowej, wykorzystując różnice między teoretycznymi a obserwacyjnymi profilami dla kilkudziesięciu punktów w zakresie 2800.8-2806.5A. Niestety, uzyskane najlepsze modele linii widmowych różniły się w zależności od dopasowywanego parametru. Uzyskanie miarodajnych modeli teoretycznych wymagało, w drugim kroku, manualnej analizy modeli teoretycznych polegającej na zmianie wejściowych parametrów (położenia, temperatury) do wartości innych niż te wykorzystywane w dyskretnej siatce modeli (243). Przeprowadzona analiza pozwoliła scharakteryzować fizyczne właściwości 5 drobnoskalowych struktur wyodrębnionych do badań (Tabela 4.2) oraz otrzymania kilku interesujących rezultatów, które zostały podsumowane w podrozdziale 4.12. Jak wynika z opisu zawartego w rozprawie, wykorzystanie zdefiniowanej przez Barlicki i Heinzel (2004) dyskretnej siatki parametrów początkowych miało jedynie służyć uzyskaniu wstępnych parametrów opisujących drobnoskalowe struktury. Wydaje się, że można było zastąpić dwustopniową analizę (automatyczne symulacje, a następnie manualne poprawianie modeli) symulacją Monte Carlo (losowy wybór parametrów wejściowych z zadanego przedziału).

W dalszej części pracy Autorka przeprowadziła szeroką analizę występowania oraz właściwości drobnoskalowych struktur w atmosferze słonecznej. Rozdział 5 omawia procedurę użytą do wyodrębnienia drobnoskalowych struktur z obrazów obszarów aktywnych obserwowanych przez IRIS w okresie 2013-2018. Automatyczna procedura została oparta na trzech kryteriach odzwierciedlających różnorodność drobnoskalowych struktur (kwalifikacja polegała na spełnieniu przynajmniej jednego z tych kryterium). Dzięki zastosowanej procedurze do dalszej analizy zostało wybranych 2053 pojaśnień UV.

W kolejnym rozdziale Autorka przedstawiła charakterystykę tych zjawisk, opierającą się na 9 parametrach. Nie do końca jest zrozumiałe, na czym polega problem z wyznaczaniem szerokości połówkowej linii widmowej za pomocą dopasowania Gaussowskiego. Jeżeli przy zastosowaniu tej procedury pojawia się błąd, to nie jest stały, jest inny dla każdego zdarzenia, więc nie jest to błąd systematyczny. Opierając się na dwóch (C_{2800}/C_L) z tych parametrów, udało się podzielić omawiane struktury na trzy podstawowe klasy zdefiniowane w pierwszej części rozprawy. Podział na te trzy klasy drobnoskalowych struktur wydaje się istotny, gdyż analiza statystyczna widm tych zjawisk wykazuje wyraźne różnice między nimi (Rysunek 6.4). Potwierdza to również charakterystyka stowarzyszonych zjawisk obserwowanych w dalekim UV (C II, Si IV, Tabele 6.4, 6.5, 6.6). Okazało się ponadto, że 73% zwartych wybuchów posiada odpowiedniki w dalekim UV. Są to nowe ważne obserwacje. Pani Litwicka poszukiwała również podobnych korelacji dla dwóch linii trypletu Mg II. Emisja w tych liniach jest zauważalna jedynie dla 33% zjawisk typu 1. Bardzo ważną częścią tego rozdziału było znalezienie lokalizacji tych zwartych pojaśnień (Podrozdział 6.4). Na podstawie analizy 170 obszarów aktywnych okazało się, że najwięcej drobnoskalowych pojaśnień pojawia się w rejonach „wynurzających" się struktur magnetycznych (EMF, Rysunek 6.13, Tabela 6.9). Ta lokalizacja szczególnie sprzyja zjawiskom typu 1. Pokazano również, że parametry linii widmowych dla tego obszaru słonecznego (EMF) są inne w porównaniu z obserwacjami w półcieniach czy plażach (Tabela 6.10). Prawdopodobnie jest to związane z mechanizmem wyzwalania energii (ogrzewania).

Kolejny rozdział (Rozdział 7) analizuje relacje między drobnoskalowymi pojaśnieniami obserwowanymi w liniach Mg II oraz tymi, zdefiniowanymi wcześniej na innych długościach fal (bomby Ellermana, bomby IRIS, wybuchy UV). Wykorzystując odpowiednie kryteria, udało się Autorce, dla wszystkich omawianych pojaśnień, zidentyfikować stowarzyszone 273 BE, 43 BI oraz 140 wybuchów w UV. Wynik ten kontrastuje z badaniami przedstawionymi w Podrozdziale 6.2.

Rozdział 8 podsumowuje przeprowadzone badania oraz przedstawia ich dalsze perspektywy.

Reasumując, przedstawiona przez Panią Litwicką monografia stanowi dogłębną analizę drobnoskalowych struktur obserwowanych w atmosferze słonecznej w liniach Mg II h i k (linie te powstają w szerokim zakresie temperatur, Rysunek 3.2). Są to pierwsze tak rozległe badania przeprowadzone w tym zakresie widma (Mg II h i k). Podczas tych badań została przeprowadzona

szczegółowa analiza 5 zjawisk oraz statystyczna analiza ponad 2000 tego rodzaju zjawisk w okolicach 170 obszarów aktywnych. Badania te były prowadzone przy wykorzystaniu automatycznych algorytmów oraz żmudnych, manualnych obserwacji. Uzyskano wiele interesujących rezultatów: na podstawie kilku parametrów wyodrębniono trzy klasy drobnoskalowych zjawisk, określono ich parametry fizyczne (lokalizacje, temperatury) w zależności od typu zjawiska, statystyczna analiza potwierdziła istnienie trzech podstawowych grup zjawisk drobnoskalowych, wykazano słaby związek między badanymi strukturami, a zdefiniowanymi wcześniej w literaturze pojaśnieniami, obserwowanymi na innych długościach fal. Tak rozległe badania pokazały ponadto, że automatyczne procedury wykorzystywane w selekcjonowaniu zjawisk czy wyznaczaniu ich parametrów, wymagają wielu założeń. Czasem mogą one prowadzić do błędnych wyników i przed wyciągnięciem ostatecznych wniosków konieczna jest weryfikująca manualna analiza. Uważam, że monografia została bardzo dobrze i spójnie zredagowana, Autorka jasno omawia pojawiające się problemy oraz przedstawia próbę ich rozsądnego rozwiązania. Istotną zaletą tej monografii jest klarowne przedstawienie znanych z literatury podobnych badań oraz ich wpływu na te wykonane przez Panią Litwicką.

Kończąc, stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska Pani magister Michaliny Litwickiej pt. „Analiza i modulowanie drobnoskalowych pojaśnień w atmosferze Słońca obserwowanych przez instrument IRIS w zakresie ultrafioletowym" spełnia formalne i zwyczajowe wymogi stawiane rozprawom doktorskim i na tej podstawie wnioskuję do Rady Dyscyplin Naukowych Astronomia oraz Nauki Fizyczne na Wydziale Fizyki i Astronomii Uniwersytetu Wrocławskiego o jej dopuszczenie do publicznej obrony.