

Рецензия

на дисертационен труд за присъждане на научната и образователна степен “доктор”
автор: Мохамед Елсайед Недал Абулаинаин Мохамед, редовен докторант в ИА с НАО - БАН
тема: “Solar Transients From The Sun to Earth: Coronal Bright Fronts, Radio Bursts, and Energetic Protons”
рецензент: доц. д-р Костадинка Желязкова Колева, Институт за космически изследвания и технологии - БАН

Рецензията е изготвена в изпълнение на заповед No 155/03.04.2024 г. на Директора на ИА с НАО и на решение по процедурата на жури (Протокол от 10.04.2024).

1. Обща характеристика и оценка на дисертационния труд.

Представеният за рецензия дисертационен труд е от 138 страници и включва 16 таблици, 77 фигури и над 320 използвани литературни източника. В структурата на дисертацията са включени също списъци на съкращенията, на фигурите и на таблиците, списък на използваните литературни източници. Структурата на дисертационния труд се състои от въведение, три глави и заключение и 6 допълнителни приложения.

Настоящата дисертация се фокусира върху изследване на ключови аспекти на слънчевата активност и нейните въздействия върху космическото време. Специфичните теми включват изучаване на разпространението на коронални вълни, предизвикани от изхвърляне на коронална маса и слънчеви избухвания, изследване на слънчевите радио избухвания от тип III и прогнозиране на събития, свързани със слънчеви енергийни частици (SEP).

Изследванията в дисертацията имат за цел да разкрият основните физически процеси, свързани със слънчевите еруптивни явления, чрез наблюдения и моделиране, като същевременно развиват възможности за прогнозиране на космическото време.

Представеният за рецензия труд представлява мулти-дисциплинарна работа, в която се разглеждат различни преходни процеси на Слънцето. В работата са разгледани обстойно три аспекта от слънчевата физика и хелиофизиката, а именно коронални вълни, радио избухвания тип III и слънчеви високо-енергийни частици.

Във въведението изчерпателно е описано актуалното състояние на научните изследвания, свързани с различните преходни слънчеви явления, които са тясно свързани с разбирането за физиката на слънчевата корона и нейната връзка с еруптивните процеси на Слънцето.

В **Глава 2** се изследва връзката между интензитета на геомагнитните бури и слънчевите активни прояви. За целта са използвани реконструирани 3D модели на коронални изхвърляния на маса (КИМ), като се подчертава значението на отчитането на скоростта на КИМ и ориентацията на магнитните структури за точното прогнозиране на космическото време. Изследвани са 26 коронални ярки фронта, наблюдавани в периода от 2010 до 2017 г, свързани с протонни събития. Анализирани са кинематиката на ударните вълни на различни височини в слънчевата корона и са определени плазмените параметри по време на тези еруптивни събития. За всички изследвани събития са идентифицирани източниците върху слънчевия диск. Като

пример подробно е разгледано събитието от 11 Май 2011 г. Представен е изчерпателен статистически анализ на кинематичните характеристики и плазмените параметри на короналните вълни.

Прави впечатление личния принос на докторанта, а именно:

1) Тестване и отстраняване на грешки, в библиотека на Python (пакета Wavetrack) с отворен код, за автоматично откриване и проследяване на коронални вълни и свързаните влакна/протуберанси. Представени са примери, които демонстрират приложението на пакета Wavetrack.

2) Изследване на връзката между реконструирани 3D модели на коронално изхвърляне на маса и интензитета на геомагнитните бури.

Глава 3 се фокусира върху слънчеви радио избухвания тип III. Моделирани са плазмените параметри и короналните магнитни полета. Представени са основните характеристики на слънчевите радио избухвания от тип III. Подробно са описани последователните етапи на обработка на данните и са представени резултатите и тяхното тълкуване. Използвани са данни от четири космически мисии, а именно Wind/WAVES, PSP/FIELDS, STEREO-A/SWAVES, and LOFAR. Анализирани са характеристиките на поредица от радио избухвания от тип III, наблюдавани на 3 април 2019 г. Идентифицирани и характеризирани са 16 радио избухвания. Определени са редица параметри на изследваните явления и на околната плазма. Сравняването на резултатите от алтернативни модели допринася за подобряването на нашето разбиране за физическите условия, които влияят върху разпространението на радио излъчвания в короната.

В **Глава 4** са изследвани слънчеви високо енергийни частици/протони. Анализирани са 62 отделни еруптивни събития, всяко от които с ясна асоциация с EUV вълни и забележимо увеличаване на потока протони. Моделирани са тяхното ускорение и траектории по време на коронални ударни вълни от Слънцето до 1 AU. Резултатите от моделирането са сравнени с *in-situ* измервания.

Важен принос на докторанта е разработването на модел за прогнозиране на слънчеви енергийни частици (SEP).

Резултатите от изследването са важни за разбирането и прогнозирането на излъчването на частици с високи енергии от Слънцето. Чрез моделиране на динамиката на ударните вълни и ускорението на частиците в слънчевата корона, изследването предоставя ценна информация за факторите, които влияят върху ускорението на частиците и техния транспорт от Слънцето до Земята.

Важно заключение е, че градиентите в плазмените параметри между съседните стримери, областите от спокойното слънце и короналните дупки са определящи за процеса на ускорение на частиците. Резултатите, представени в дисертацията биха допринесли за разработването на модели за дългосрочно прогнозиране на SEP събития.

В последната част от дисертацията се прави кратък преглед на получените резултати. *Считам, че тяхната формулировка, самата дисертация, както и автореферата към нея, отразяват коректно и пълно същността на резултатите, постигнати в проведеното научно изследване.*

2. Оценка на актуалността и степента на познаване на проблема.

Тематиката на дисертационния труд е актуална и акцентира върху изследването на ключови аспекти на слънчевите активни прояви и тяхното въздействие върху космическото време. В представения за рецензия труд различните преходни процеси на Слънцето се разглеждат в единна рамка, като се подчертава техния взаимосвързан характер. Използвани са съвременни модели и методи за обработка на наблюдателните данни.

От изложеното и анализирането на литературните източници се вижда, че дисертантът познава в подробности съвременното състояние на проблема и на свързаната литература. Считам, че методите и подходите на изследване, избрани и приложени в дисертационния труд, са адекватни на изучаваните процеси и водят до постигане на поставените цели.

3. Оценка на научните приноси на дисертационния труд

Оригиналните научни приноси могат да бъдат систематизирани както следва:

Изследвана е динамиката на короналните ударни вълни (CBFs), направена е диагностика на слънчеви радио избухвания от тип III. Тези изследвания допринасят за прогнозиране на потоците на слънчеви енергийни протони (SEP) и за задълбочаване на разбирането ни за слънчевите преходни процеси, връзките между тези явления и тяхното влияние върху космическото време и неговото прогнозиране, което е една много актуална тема в слънчево-земната физика.

Изследвани са 26 коронални ударни вълни въз основа на данни от инструментите на SDO и SoHO. Този анализ разкрива времевата еволюция и компресионните характеристики на CBF, както и свойствата на обкръжаващата плазма.

На базата на съвременни инструменти като LOFAR и Parker Solar Probe (PSP) са изследвани радио избухвания от III тип, свързани със слънчеви еруптивни явления. Изследвани са магнитните полета и плазмените характеристики на 9 радио избухвания от III тип, от комбиниран динамичен спектър LOFAR-PSP и 16 в спектъра LOFAR.

Разработен е модел за прогнозиране на слънчеви енергийни частици (SEP), базиран на данни от 1976 до 2019 г. Моделът позволява предсказване на интегралните потоци на SEP и подчертава тяхното влияние върху Земята и технологиите.

Във връзка с ускоряването и разпространението на частици с високи енергии от Слънцето към Земята е тествана библиотека на Python (Wavetrack), предназначена за откриване и проследяване на слънчеви преходни явления. Направена е 3D реконструкция на структурата на геоефективни КИМ и е изследвана корелацията им с междупланетните параметри.

4. Оценка на публикациите по дисертацията

Основните научни приноси, изложени в дисертацията са публикувани в 7 научни публикации, 5 от които в списания с IF, една в просидинги на конференция и една в arXiv. До момента на написване на рецензията са цитирани осем пъти.

Личният принос на дисертанта е значителен. Водещ автор е в три от публикациите, в две е втори автор, и в две трети. Видно е водещото му участие във всички етапи на изследването.

Списъкът с научните публикации на дисертанта е представен отделно. Добра идея е той да бъде част от дисертационния труд.

Общатата публикационна активност на дисертанта е впечатляваща. Освен споменатите 7 статии, той е представил още две, които не са включени в дисертацията и са цитирани 45 пъти.

5. Оценка на автореферата

Авторефератът е с обем 46 страници. Той представлява кратко изложение на основните моменти от дисертацията. Структурата му съответства на дисертационния труд, представен от докторанта.

Нямам критични бележки по отношение на изложените в дисертационния труд резултати и тяхната интерпретация.

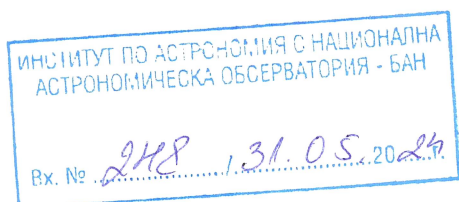
В заключение на написаното до тук, стигам до извода, че представения за рецензиране дисертационен труд на тема: “Solar Transients From The Sun to Earth: Coronal Bright Fronts, Radio Bursts, and Energetic Protons” представлява оригинален принос в науката, а дисертантът Мохамед Недал притежава задълбочени и практически знания и умения в областта на хелюфизиката, като в същото време демонстрира и необходимата професионална зрялост за провеждане на самостоятелни научни изследвания.

Дисертацията и резултатите представени в нея, удовлетворяват напълно изискванията на Закона за развитие на академичния състав в Република България, правилниците към него и специфичните изисквания на Института по астрономия с НАО – БАН.

Давам ПОЛОЖИТЕЛНА ОЦЕНКА на рецензирания дисертационен труд и препоръчвам на членовете на почитаемото Научно жури да присъдят научната и образователна степен “доктор” на Мохамед Елсайед Недал Абулаинаин Мохамед.

30.05.2024 г.

Рецензент:
/К. Колева/



Review

on the **Dissertation for obtaining the educational and science degree „Doctor“** (equivalent of Doctor of Philosophy) by **Mr. Mohamed ElSayed Nedal AbulAinain Mohamed**, a doctoral candidate in the “Heliophysics programme” (professional field 4.1 Physical Sciences, area of higher education 4. Natural Sciences, Mathematics and Informatics), at the Institute of Astronomy and National Astronomical Observatory, Bulgarian Academy of Sciences

Thesis theme: “Solar Transients From The Sun to Earth: Coronal Bright Fronts, Radio Bursts, and Energetic Protons”

Reviewer: Assoc. Prof. Kostadinka Koleva, PhD
Space Research and Technology Institute

1. Overall assessment of the dissertation

The doctoral dissertation contains 138 pages, including 16 tables, 77 figures and over 320 references. Lists of abbreviations, figures and tables and list of used references are also included in the structure of the dissertation. The dissertation consists of an Introduction, three chapters, a summary and 6 Appendices.

The current dissertation focuses on investigating key aspects of solar eruptive activity and its implications in the fields of heliophysics and space weather. Specific topics include investigating the propagation of coronal waves triggered by CMEs and solar flares, analyzing the characteristics of Type III solar radio bursts, and the prediction of solar energetic particle (SEP) events that cause disturbances in near Earth and interplanetary space.

Dissertation aims to reveal the underlying physical processes associated with solar eruptive phenomena through observations and modeling, while developing space weather forecasting capabilities.

The dissertation represents an interdisciplinary study in which various transient processes of the Sun are considered. Three aspects of solar physics and heliophysics, namely CBFs, type III radio bursts, and SEPs, are extensively discussed.

The Introduction provides a thorough overview of the current state of scientific research related to the various transient solar phenomena that are linked to our understanding of the physics of solar corona and its relation to the solar eruptions.

Chapter 2 examines the relationship between the intensity of geomagnetic storms and solar activity. For this purpose, reconstructed 3D models of coronal mass ejections (CMEs) were used, emphasizing the significance of magnetic structure orientation and CME velocity for precise space weather forecasting.

A total of 26 coronal bright fronts, observed between 2010 and 2017, associated with proton events were examined. The kinematics of shock waves at different coronal heights were

analyzed and the plasma parameters during these eruptive events were determined. For all studied events the solar sources have been identified. As an example the event of May 11, 2011 is discussed in detail. A comprehensive statistical analysis of the kinematic characteristics and plasma parameters of the coronal waves is presented.

The personal contribution of Mr. Mohamed Nedal is impressive, namely:

- 1) Testing and debugging of an open-source Python library (the Wavetrack package), that automatically detects and tracks coronal waves and the associated filament/prominence. Examples are presented that demonstrate the application of the Wavetrack package.
- 2) Investigating the relationship between the reconstructed 3D models of coronal mass ejections and the intensity of geomagnetic storms.

Chapter 3 focuses on Type III solar radio bursts. Plasma parameters and coronal magnetic fields are modeled. The main characteristics of type III solar radio bursts are presented. The successive stages of data processing are described in detail and the results and their interpretation are presented. Data from four space missions were used, namely Wind/WAVES, PSP/FIELDS, STEREO-A/SWAVES, and LOFAR. The characteristics of a series of type III radio bursts observed on April 3, 2019 are analyzed and a set of 16 radio bursts were identified and characterized. Various models are used to model events. A number of parameters of the studied phenomena and of the surrounding plasma have been determined. Comparing the results of alternative models contributes to improving our understanding of the physical conditions that influence the propagation of radio emissions in the corona.

In **Chapter 4**, solar energetic particles/protons (SEPs) are investigated. A set of 62 eruptive events were analyzed, each of them with a clear association with EUV waves and an evident increase in proton flux. The SEP's acceleration and trajectories during coronal shock waves from the Sun to 1 AU are modeled. The results are compared with in-situ measurements. The development of a forecasting model for solar energetic particles (SEPs) is a significant contribution made by the PhD student.

The study's findings are crucial for comprehending and forecasting the emission of high-energy particles from the Sun. By modeling the shock waves dynamics and particle acceleration in the solar corona, the study provides important insights into the parameters that affect SEP acceleration and their transport from the Sun to Earth.

An important conclusion is that gradients in plasma parameters between neighboring streamers, quiet-Sun regions, and coronal holes determine the particle acceleration process. The results presented in the thesis would contribute to the development of long-term modeling and forecasting of SEP events.

In the last part of the dissertation, a brief overview of the obtained results is presented.

I believe that their representation, as well as the dissertation itself, accurately and comprehensively reflect the essence of the results achieved in conducting the scientific research.

2. Relevance

The topic of the dissertation is current and focuses on the study of key aspects of solar eruptive events and their impact on space weather. In the work submitted for review, the various transient processes of the Sun are considered in a unified framework, emphasizing their interconnected nature. Modern models and methods for processing observational data were used.

It is clear from what has been presented and the analysis of the given references that the PhD student knows in detail the current state of the problem.

I believe that the research methods and approaches selected and applied in the dissertation are appropriate for the processes under study and result in the achievement of the previously set goals.

3. Scientific Contributions

Original scientific contributions can be summarized as follows:

The dynamics of Coronal Bright Fronts (CBFs) was studied, solar type III radio bursts was investigated, as well. The study contributes to the prediction of Solar Energetic Proton (SEP) fluxes and advances our understanding of solar transient events, the relationships among these phenomena and their implications for space weather forecasting - a crucial area of research in solar-terrestrial physics.

26 CBFs were investigated, using data from the Atmospheric Imaging Assembly (AIA) and the Large Angle and Spectrometric Coronagraph (LASCO) instruments. This analysis revealed the temporal evolution, compressional characteristics of CBFs, and ambient plasma properties.

Based on recent solar missions such as the Low-Frequency Array (LOFAR) and Parker Solar Probe (PSP) type III radio bursts, associated with solar eruptive phenomena have been studied. The magnetic fields and plasma characteristics of 9 type III radio bursts in the LOFAR-PSP combined dynamic spectrum and 16 in the LOFAR spectrum were investigated.

A Solar Energetic Particle (SEP) forecast model is developed based on data from 1976 to 2019. The model allows prediction of SEP integral fluxes, highlighting their influence on Earth and technology.

Regarding the acceleration and transport of SEPs from the Sun to the Earth, a flexible, object-oriented Python library (Wavetrack) designed for general solar feature detection and tracking was tested. A 3D reconstruction of geo-effective Coronal Mass Ejections (CMEs) was made and correlations with Interplanetary CME and interplanetary parameters were analyzed.

4. Evaluation of publications

The main scientific contributions presented in the thesis have been published in seven scientific publications, 5 of them in IF journals, one in conference proceedings and one in arXiv. I have located eight citations to the publications so far.

The personal contribution of Mr. Mohamed Nedal is significant. On three of the publications, he is the leading author; on the other two, he is the second and third author. His leading contribution in all stages of the research is evident.

The list of the publications is presented separately. It is a good idea to make it part of the dissertation. The overall publication activity of Mr. Nedal is remarkable. Apart from the aforementioned seven publications, he also presented two more that were not included in the thesis and were cited 45 times.

5. Autoreferat

The dissertation abstract has a volume of 46 pages and presents a synthesized content of the dissertation. The abstract is developed appropriately so that it gives a complete and accurate idea of the main topics and achievements of the dissertation.

*Regarding the results and their interpretation given in the dissertation, I have no critical remarks. In conclusion of what has been written so far, I come to the conclusion that the dissertation submitted for review on the topic: "**Solar Transients From The Sun to Earth: Coronal Bright Fronts, Radio Bursts, and Energetic Protons**" represents an original contribution to science, and Mohamed Nedal possesses in-depth and practical knowledge and skills in the field of helophysics, while at the same time demonstrating the necessary professional maturity to conduct independent scientific research.*

The dissertation and the results presented in it are fully compliant with the requirements of the Law for the Advancement of Academic Staff in the Republic of Bulgaria, with the Regulations of its application and conditions for obtaining the degree of "doctor" at the IA and NAO, BAS.

My evaluation is fully POSITIVE and I confidently recommend that Mr. Mohamed ElSayed Nedal AbulAinain Mohamed is awarded the educational and science degree "doctor" (equiv. of Doctor of Philosophy) in professional field 4.1 Physical Sciences, area of higher education 4. Natural Sciences, Mathematics and Informatics.

30.05. 2024.

Reviewer:.....
/Assoc. Prof. Kostadinka Koleva/