

Институт по астрономия с
Национална астрономическа обсерватория
Отдел „ Слънце и Слънчева система“
Българска академия на науките

Рецензия на дисертация за получаване на образователната и научна степен „доктор“

Име на Кандидата: Мохамед ЕлСайед Недал АбулАйнаин Мохамед, докторант от програма „Хелиофизика“, професионално направление 4.1. Физически науки, област на висше образование 4. Природни науки, математика и информатика

Заглавие на дисертацията: „Слънчеви транзиенти от Слънцето до Земята: коронални ярки фронтове, бързи радиоизбухвания и енергитични протони“

Ръководител: доц. Камен Асенов Козарев

Рецензент: проф. Таню Русинов Бонев

- 1. Актуалност на разработваните научни проблеми:** През 2009 г. НАСА публикува пътна карта за развитието на хелиофизиката в бъдеще, до 2030 г. Пътната карта, наречена „Хелиофизика, слънчевата и космическа физика в новата ера“, съдържа няколко научни направления и техните цели. Едно от включените научни направления е „Ускоряване и транспорт на слънчеви енергетични частици: да се разбере как и къде слънчевите изригвания ускоряват енергетичните частици, които достигат Земята“. В докторската си дисертация Мохамед Недал разглежда точно този научен проблем, започвайки със събитията на изригване, анализирайки наблюдавани явления, свързани с тях (СВФ и радиоизбухвания от тип III), и прогнозирайки SEP потоците на Земята. Това прави докторската дисертация модерен текст на педния фронт на хелиофизиката.
- 2. Познаване на съвременното ниво на тематиката и на литературата по въпроса:** Общият брой на библиографията в дисертацията е 275. Включени са както класически книги и статии, както и повече от 100 публикации от последното десетилетие. Авторът демонстрира добро познаване на наземни и космически инструменти, използвани широко в неговото изследване. Очевидно той има много добри познания за текущото ниво на изследванията в своята изследователска област.

3. **Адекватност на избраните методики:** Използваните от автора методи са добре подбрани и са в пълно съответствие с целите на неговото изследване. Наблюдателната част използва широка гама от космически и наземни инструменти, покриващи диапазона от EUV до радиовълни, както и бази данни и каталози, съдържащи информация за хелиосферни събития. Един източник на данни за този многовънвов анализ е инструментът SOHO/ERNE, първото систематично изследване на слънчевите енергийни частици (SEP). Кандидатът идентифицира 216 протонни събития в енергийния диапазон от 17-22 MeV от 2010 до 2017 г. След прилагане на няколко критерия за подбор той продължава с 26 събития, които показват измерими CBF. Анализът на тези събития се основава на последователности от изображения, получени в EUV канали 171, 193 и 211 Å на AIA, и изображения в FOV на коронографам LASCO. Тези изображения се използват за характеризиране на кинематиката на CBF в ниската и средна/външна корона и оценка на свойствата на околната плазма. За да постигне тази цел, Мохамед използва няколко сложни метода. Те включват техники за обработка на изображения, напр. трансформации от декартови към полярни координати на интересуващата ни зона (наречен в дисертацията „метод на пръстена“), филтриране на Savitzky-Golay, подреждане на локални минимуми/максимуми в изображенията и метрики за близост/интензитет.
4. **Значимост на научните приноси, изложени в дисертацията, апробация на резултатите:** Всяка от трите теми в дисертацията съдържа по няколко научни приноса. При анализа на кинематиката на слънчевите коронални вълни Мохамед използва данни за 26 CME, генерирани CBF в ниската слънчева корона, изчислил е техните параметри, зависещи от времето и разстоянието, установил е връзки между кинематиката на ударната вълна и параметрите на плазмата. В короналната диагностика на слънчеви радиоизбухвания от тип III той е използвал данни от LOFAR, за да намери действителното местоположение на източниците на избухванията. Комбинацията с данни от PSP е позволила извличането на допълнителни характеристики като дрейф на честотата и скорости на електронния поток. В областта на прогнозирането на потока на SEP кандидатът успешно е разработил и обучил BiLSTM невронни мрежи, прогнозиращи осреднени за деня интегрални потоци на SEP за 1 ден, 2 дни и 3 дни напред в три енергийни канала: >10 MeV, >30 MeV и >60 MeV.
5. **Характеристика на публикациите по дисертацията, цитати:** Кандидатът е представил 7 статии, свързани с темата на дисертацията, и още два, които не са включени в дисертацията. Всички статии са в реферирани списания. Според ADS включените статии са цитирани 17 пъти, а една от невключените, където кандидатът е съавтор, е цитирана в 41 източника.
6. **Личният принос на дисертанта:** Използвайки данни от Прибора за атмосферни изображения (AIA) и от ширококогълния спектрометричен коронограф (LASCO), кандидатът анализира 26 CBF. Той успешно е приложил софтуера за анализ и прогнозиране на радиационната среда на слънчевите частици – ускоряване, транспорт и разсейване (SPREADFAST), за да разкрие времевата еволюция,

свойствата на плазмата и характеристиките на компресия на CBF. Студентът е разработил автоматизиран софтуер за предварителна обработка и калибриране на интерферометричните данни за слънчеви радио изображения, получени с LOFAR. Той е разработил и модели за прогнозиране, базирани на невронна мрежа с двупосочна дългосрочна памет (BiLSTM), използвайки данни от OMNIWeb от 1976 до 2019 г., за да предскаже интегралните потоци на SEP, като подчертава опасното влияние на енергийните частици върху Земята и технологичните системи. Той също така анализира ускоряването и транспортирането на SEP от Слънцето към Земята, използвайки Wavetrack - гъвкава, обектно-ориентирана библиотека на Python, предназначена за общо откриване и проследяване на слънчеви характеристики, и реконструира 3D структурата на геосфективни изхвърляния на коронална маса (CMEs) и изследва корелациите между CME и междупланетните параметри.

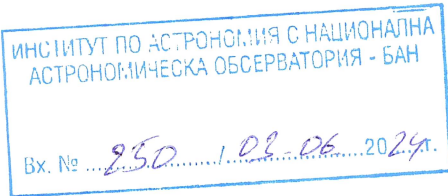
7. **Критични бележки на рецензента по структурата, съдържанието и оформянето на дисертацията и автореферата към нея:** Нямам критични бележки по всички аспекти на дисертацията. Няколко печатни грешки не влияят на научното качество на дисертацията, поради което не е необходимо да ги обсъждаме.
8. **Мотивирано и ясно формулирано заключение, базирано на специфичните изисквания на закона и правилниците:** Представената от г-н Мохамед ЕлСайед Недал АбулАйнаин Мохамед документация за придобиване на образователно-научна степен „доктор” (съответстваща на доктор по философия) отговаря изцяло на изискванията на Закона за развитие на академичния състав в Република България, с Правилника за прилагането му и с Правилника и условията за придобиване на образователно-квалификационна степен “доктор” към ИА и НАО, БАН. Дисертационният труд е съобразен и със специфичните изисквания на ИА с НАО за неговия обем и съдържание. Кандидатът има оригинален личен научен принос. Демонстрира и задълбочени познания и възможности за самостоятелна научна работа. **Моето заключение е ПОЛОЖИТЕЛНО и препоръчвам с голяма увереност г-н Мохамед ЕлСайед Недал АбулАйнаин Мохамед да получи образователната и научна степен „доктор“ (еквивалентна на доктор по философия) в професионална област 4.1 Физически науки, област на висшето образование 4. Естествени Науки, математика и информатика.**

София,

3 юни 2024 г.

Рецензент:

(проф. Таню Бонев)



Institute of Astronomy and National Astronomical Observatory
Bulgarian Academy of Sciences, Sun and Solar System Department

PhD Thesis Evaluation Report

- **Name of Candidate:** Mohamed ElSayed Nedal AbulAinain Mohamed
- **Title of Thesis:** Solar Transients From The Sun to Earth Coronal Bright Fronts, Radio Bursts, and Energetic Protons
- **Supervisor:** Assoc. Prof. Kamen Asenov Kozarev
- **Reviewer:** Prof. Tanyu Bonev

1. **Topicality of the developed scientific problems:** In 2009 NASA published the roadmap on the development of heliophysics in the future, up to 2030. The roadmap called “Heliophysics, the solar and space physics of a new era” contains several science targets and their objectives. One of the included science targets is “Solar Energetic Particle Acceleration and Transport: Understand how and where solar eruptions accelerate energetic particles that reach Earth.” In his PhD thesis Mohamed Nedal considers exactly that scientific problem, starting with eruption events, analyzing observable phenomena related to them (CBF and type III radio bursts), and forecasting SEP fluxes at Earth. This makes the PhD thesis a modern text at the forefront of the solar physics science.
2. **Knowledge of the current state of these problems and the literature on the matter:** The total number of items in the bibliography of the thesis is 275. Included are classical books and articles as well more than 100 publications from the last decade. The author demonstrates also a good knowledge of ground-based and space-

born instruments, used widely in his study. Obviously he has a very good knowledge of the current status in his research field.

- 3. Adequacy of the chosen methods:** The methods used by the author are well chosen in full correspondence with the aims of his study. The observational part uses a broad range of space-born and ground-based instruments, covering the range from EUV to radiowavelengths, as well databases and catalogues containing data on heliospherical events. One source of data for this multiwavelength analysis is the SOHO/ERNE instrument, the first systematic survey of Solar Energetic Particle (SEP). The candidate identified 216 proton events within the energy range of 17-22 MeV, from 2010 to 2017. After application of several selection criteria he proceeded with 26 events that exhibited measurable CBFs. The analysis of these events was based on image sequences obtained in the EUV channels 171, 193, and 211 Å of the AIA, and images in the FOV of the LASCO coronagraph. These images are used to characterize the kinematics of the CBFs in the low and middle/outer coronas, and estimate the ambient plasma properties. To achieve this aim Mohamed used several sophisticated methods. They include image processing techniques, e.g. transformations from Cartesian to polar coordinates of the region of interest (called in the thesis “the annulus method”), Savitzky-Golay filtering, ordering of local minima/maxima in the images and proximity/intensity metrics. Further the author applies statistical methods, and Automated Recognition and Tracking of Solar Eruptions (Wavetrack), which allowed him to find relationship between cause and effect (eruption and wave). Solar radio emissions are associated with solar activity. Mohamed Nedal has used data from LOFAR and PSP to investigate radio bursts from type III. Using LOFAR imaging, complemented with PSP data, the candidate

managed to identify active regions on the solar disk as sources of 16 type III radio bursts, measured on April 3, 2019. Using different models the student has derived several coronal plasma parameters – density, temperature, magnetic field, total pressure, Alfvén speed, plasma beta. The analysis of LOFAR imaging in combination with MAS modeling indicated discrepancies between observed and modeled burst trajectories, emphasizing the need for model refinements. The solar activity phenomena are closely related, CMEs initiate CBFs, coronal waves which accelerate electrons and protons. SEP events in near Earth environment can be hazardous for space missions and technological systems on Earth. Therefore forecasting of such events is of great importance for timely disclosure to interested parties. The student has used modern deep learning methods to make predictions of increased SEPs fluxes effective and to reduce forecasting errors. After comprehensive analysis of several neural network architectures Mohamed has chosen the BiLSTM model for his long-term and short term forecasting of SEPs events. The presented results demonstrate the ability of this method for early warnings and accurate risk assessments for space weather events.

4. **Significance of the scientific contributions presented in the dissertation, approbation of the results:** Every of the three topics in the dissertation contains several scientific contributions. In the analysis of kinematics of the solar coronal waves Mohamed used data on 26 CME driven CBFs in the low solar corona, computed their time- and distance-dependent parameters, found relationships between the shock kinematics and plasma parameters. In the coronal diagnostics of Solar Type III radio bursts he used LOFAR data to find the actual location of the burst sources. The combination with PSP data allowed the derivation of further characteristics like frequency drift and electron beam speeds. In the field of SEP flux forecasting the

candidate successfully developed and trained BiLSTM neural networks predicting daily-averaged integral fluxes of SEP at 1-day, 2-day, and 3-day ahead in three energy channels: >10 MeV, >30 MeV, and >60 MeV.

5. **Characteristics of the dissertation publications, citations:** The candidate presents 7 papers related to the subject of the dissertation, and two more which are not included in the thesis. All papers are in refereed journals. According to ADS the included papers are cited 17 times, and one of the not included, where the candidate is coauthor, is cited in 41 sources.
6. **Personal contribution of the dissertation student:** Using data from the Atmospheric Imaging Assembly (AIA) and the Large Angle and Spectrometric Coronagraph (LASCO) instruments the candidate analyzed 26 CBFs. He successfully applied the Solar Particle Radiation Environment Analysis and Forecasting–Acceleration and Scattering Transport (SPREAdFAST) framework to unveil the temporal evolution, plasma properties, and compressional characteristics of CBFs. The student developed an automated pipeline to preprocess and calibrate LOFAR interferometric data for solar radio imaging. He developed forecasting models based on the Bi-directional Long Short-Term Memory (BiLSTM) neural network using OMNIWeb data from 1976 to 2019 to predict SEP integral fluxes, emphasizing the hazardous influence of energetic particles on Earth and technology. He also collaborated on works regarding the acceleration and transport of SEPs from the Sun to the Earth, testing Wavetrack—a flexible, object-oriented Python library designed for general solar feature detection and tracking, and reconstructing the 3D structure of geo-effective Coronal Mass Ejections (CMEs) and examining correlations with Interplanetary CME and interplanetary Parameters.

7. **Critical notes of the reviewer on the structure, content and design of the dissertation and the author's reference to it:** I don't have critical notes on all aspects of the dissertation. Several typos don't influence the scientific quality of the dissertation, therefore there is no need to discuss them.
8. **Motivated and clearly formulated conclusion, based on the specific requirements of law and regulations:** The submitted by Mr. Mohamed ElSayed Nedal AbulAinain Mohamed documentation for acquiring the educational and science degree "doctor" (equiv. of Doctor of Philosophy) complies in full with the requirements of the Law for the Advancement of academic staff in the Republic of Bulgaria, with the Regulations of its application, and with the Regulations and conditions for obtaining the degree of "doctor" at the IA and NAO, BAS. The dissertation also complies with the specific requirements of the IA and NAO for its volume and content. The candidate has original personal scientific contributions. He also demonstrates in-depth knowledge and capabilities for independent scientific work. **My conclusion is POSITIVE and I recommend with high confidence 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.**

Sofia,

3 June 2024

Reviewer:

(Prof. Tanyu Bonev)