



РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за придобиване на образователната и научна степен “доктор” по професионално направление 4.1 Физически науки (*Физика на океана, атмосферата и околоземното пространство*)

Автор на дисертационния труд: магистър Красимир Николаев Кръстев, задочен докторант към Институт за космически изследвания и технологии (ИКИТ) при БАН, научен ръководител проф. дфн Йорданка Семкова (ИКИТ-БАН)

Тема на дисертационния труд:

„ИЗСЛЕДВАНЕ НА РАДИАЦИОННИТЕ УСЛОВИЯ ПО ТРАСЕТО И В ОРБИТА ОКОЛО МАРС ПО ДАННИ ОТ АПАРАТУРАТА „ЛЮЛИН-МО“ НА БОРДА НА СПЪТНИКА „ЕКЗОМАРС“ TRACE GAS ORBITER

Рецензент: Кирил Крежов, професор, дфн, член на научното жури съгласно заповед на Директора на ИКИТ № 114/09.11.2023

Кратки професионално-биографични данни за докторанта

Дисертантът Красимир Кръстев е роден през 1974 г. в град Ихтиман. Средно образование завършва с отличен успех (5.89) през 1993 г. в СОУ „Отец Паисий“ с природоматематическа насоченост в град Кърджали, профил „математика с разширено изучаване на английски език“. През 1998 г. придобива квалификационна степен „магистър“ по специалност „физика“ със специализация „Физика на ядрото и елементарните частици“ от Физическия факултет (ФзФ). Дипломната работа на тема „Калибриране на ^3He - неутронен детектор за регистрация на редки събития на спонтанно делене на 105 –ти елемент“ Красимир Кръстев е изпълнил в Обединения институт за ядрени изследвания (ОИЯИ) в град Дубна, под ръководството на доц. д-р Ани Минкова от катедра „Атомна физика“ на ФзФ.

През 2013 г. Кръстев е назначен в Секция „Слънчево-Земна Физика“ на ИКИТ-БАН. На 12.01.2015 г е зачислен в задочна докторантура, а от 01.01.2019 г. е отчислен с право на защита. При откриването на процедурата за защита на дисертационния труд дисертантът даде информация за получени кредити от квалификационни курсове и положени изпити по *Космическа Физика, Слънчево-Земна Физика, MATLAB и Английски език*. По мое искане получих сведения за представени лично от него доклади на национални и международни научни форуми, с което се уверих, че той е изпълнил успешно плана за обучение и изследователска работа по време на докторантурата и с получени общ брой 706 при 250 минимално необходими кредити е постигнал резултати, които надхвърлят минималните национални критерии и приетите изисквания в БАН (по време на докторантурата) и ИКИТ за придобиване на ОНС „доктор“.

Представени материали

Дисертационен труд и Автореферат

Дисертационният труд е изложен на 139 страници и съдържа 132 фигури и 30 таблици. Обхваща Заглавна страница, Съдържание (2 стр.), Списък на съкращенията (1 стр.), който улеснява прочита на текста, Увод (4 стр.), основен текст - разпределен в 5 глави, Списък с данните за 6-те публикации на автора по дисертацията и библиографска справка от 122 литературни източници, включително трудове с участие на дисертанта.

Авторефератът е изложен на 45 страници и спазва структурата на дисертацията, вкл. номерацията на фигурите, таблиците и илюстрациите.

Цели и актуалност на разработвания дисертационен труд

Дисертационният труд адресира важен етап в постигането на желани цели за човека да се върне на Луната и евентуално да посети Марс през следващите десетилетия. Голямото препятствие е „космическата радиация“, което е неизбежен риск за здравето на екипажите, особено при дългосрочни престои в бъдещи планетарни станции. В частност, спорадичните потоци слънчеви енергийни частици (СЕЧ), генерирани при екстремни слънчеви изригвания, могат да повишат нивата на радиация в близост и на планетарната повърхност до потенциално опасни стойности.

Оценката на радиационния риск е важна част от планирането на всяка космическа мисия. На международната космическа станция се извършва непрекъснат мониторинг на радиационната обстановка. Що се отнася до изследвания на радиационната среда в междупланетното пространство, то експерименталните данни са много по-малко. Детекторът за оценка на радиацията (RAD) на Mars Science Laboratory (MSL) измерва радиационната среда на енергийни частици, която се състои от галактически космически лъчи (ГКЛ) и СЕЧ, както и вторични частици, създадени от ядрени взаимодействия на първични частици в екраниращата (по време на полета Земя-Марс) защита на космическия апарат или в марсианската атмосфера и почва (повърхностни измервания). Дозиметърът Люлин – МО е вторият прибор (след RAD MSL), който направи измервания на радиационната среда по време на полета до Марс. В момента Люлин – МО е единственият източник на данни за радиационното поле на орбита около Марс. Люлин – МО регистрира няколко много мощни слънчеви събития с изхвърляне на протони, което дава възможност да се проследи разпространението на потоците високоенергийни протони в хелиоферата на разстояние 1-1.5 AU от Слънцето и допълнително да се оцени радиационния риск. Тъй като съществуващите модели за космическите лъчи не дават надеждна оценка за радиационния риск за конкретни времеви интервали, всеки експеримент свързан с реално измерване на радиационното поле в междупланетното пространство е актуален и с особено значим принос към развитието на космическите изследвания.

Познаване на проблема и творческа оценка на литературния материал?

Представянето на резултатите и описанието на процеса за тяхното получаване свидетелстват за постигнато професионално ниво на познаване на тематиката от дисертанта, включително относно проблемите, които съпътстват анализи относно достоверността на данни, генерирани от космическите детекторни системи.

Цитираната литература от 122 заглавия отразява както достиженията, така и считаните за перспективни насоки на изследванията, с оглед на напредъка в цифровата обработка на сигналите от детекторите на лъчения. В публикациите и докладите, върху които е изграден дисертационният труд, също критично се анализират актуални научни и практически достижения в областта.

Съответствие на методиката на изследване с поставените цели и задачи на дисертационния труд?

Основна задача е да се анализира и интерпретира спектрометричната информация от Люлин–МО по трасето и в орбити около Марс и включва решаването на 5 подзадачи. Изясняването на влиянието на вторичните частици при формиране на отклика на детекторната система е втора основна задача с 8 подзадачи.

Получаването и анализите на обсъжданата експериментална информация в дисертационния труд се основават на работните характеристики на Люлин-МО.

Редица важни параметри на дозиметричната спектрометрична система са определени чрез метрологична калибровка с използване на специализирана дозиметрична линия. Характеристиките на системата са моделирани със софтуерния пакет GEANT4 на ЦЕРН. В избора и приложението на съответния програмен модул за решаване на конкретна задача дисертантът е участвал активно при съставянето на подходящ алгоритъм и е проявил инициативност и самостоятелност за неговата програмна реализация.

Като цяло, избраната методика на изследване осигурява решаването на поставените цели и задачи.

Обща характеристика на дисертационния труд

Основният текст е разпределен условно в 5 глави, от които първите четири описват решаваните задачи, извършените конкретни дейности и получените резултати, а кратката 5-та глава по същество синтезира натрупания опит. Същественият оригинален експериментален материал е изложен и анализиран в Глави 3 и 4.

Първа глава представлява аналитичен обзор, в който дисертантът съпоставя актуалната информация относно произхода и приноса на източниците на йонизираща радиация около Земята, в междупланетното пространство, в орбита и на повърхността на Марс, получена въз основа на предишни наблюдения и опитни резултати от космическа апаратура, и е насочен в крайна сметка към изясняване на радиационната среда при евентуални пилотирани мисии до Марс. В тази връзка са описани основните цели и задачи на мисията Екзо-Марс, която е съвместен проект на Европейската космическа агенция и Роскосмос за изследване на Марс, свързан с извеждане на спътника Trace Gas Orbiter (TGO), съоръжен с руския неутронен детектор FRIEND, и са разяснени ролята и значението на прибора Люлин-МО като модул към FRIEND за придобиване на достоверна радиационна информация при планираните етапи за постигане на амбициозните цели на мисията.

Втора глава дава подробно описание на конструкцията на спектрометъра за измерване на заредени частици Люлин-МО, в който сензори са два дозиметрични телескопа (всеки с двойка Si PIN фотодиода), разположени в две перпендикулярни посоки, адресирани са компромисните изисквания към схемотехниката за измерване на

гама лъчение, електрони и протони. Обсъдени са също ключови методологически особености при определяне на основните дозиметрични параметри на Люлин-МО.

Трета глава описва анализирането на данни от Liulin-МО по време на полета и в орбита около Марс, които са сравнени с опитни данни с други прибори. Внимателно е изследван засенчващият ефект на Марс върху измерените потоци и мощности на дозите. За целта е създаден алгоритъм за числени симулации.

Глава 4 адресира резултатите от численото симулиране, включително оценката на геометричното орбитално разположение на сензорите на Люлин-МО. Обосновава се получаването на количествена и качествена оценки на приноса на вторичните частици при формиране на отклика на детекторите при числени симулации на различни защити на детекторната система на Люлин-МО. Показан е приносът на отделните компоненти от спектъра на ГКЛ към сумарната доза и спектъра на линейно поглъщане на енергията (ЛПЕ).

Глава 5 по същество синтезира натрупания опит, като са обособени разделите „Благодарности“, „Авторски приноси“ (1 стр.) и „Бъдещи планове за развитие на тематиката“.

Приноси на дисертационния труд

Приносите имат научно и научно- приложен характер, формулирани са от дисертанта достатъчно ясно и ги приемам принципно, но ги преформулирам:

1. Аналитично са пресметнати редица характеристики на апаратурата Люлин-МО: средната дължина на преминатия от частицата път в единичния силициев детектор; средната дължина на пътя, който изминава частица в детектора на телескопа на Люлин-МО; коефициентът, по който от дозата, получена в телескопа, се преминава към дозата получена в единичния детектор. Изследван е засенчващия ефект на Марс във високоелиптична и кръгова (около 400 км височина) орбити върху измерените потоци и мощности на дозите от ГКЛ. Изведени са аналитични зависимости за коефициентите на засенчване относно тези величини.
2. Създаден е числен модел и е проведена симулация на въздействието на ГКЛ върху конструкцията на комплекса EchoMars TGO- FRIEND- Люлин – МО и последващия отклик на детекторната система на Люлин – МО. С помощта на програмния пакет Geant4 е осъществено числено симулиране на измерванията на Люлин-МО по време на полета му до Марс през април-септември 2016 г.
3. Създадена е методология за скрининг на фалшиви вторични сигнали породени от взаимодействието на първичните ГКЛ с конструкцията на космическия апарат в спектрите на предадената енергия в телескопите на Люлин-МО и съответно в спектрите на линейно поглъщане на енергията (ЛПЕ) на ГКЛ. Разработен е алгоритъм за числено симулиране, чрез който експериментално полученият спектър на ЛПЕ от телескопа се реконструира и се изчиства от фалшиви сигнали, предизвикани от съвпадения с вторични частици. Алгоритъмът е приложен за определяне на спектъра на ЛПЕ по експерименталните данни от телескопите за етапа на полета до Марс.

Значимост на приносите за науката и практиката

Дисертационният труд адресира получаването и статистическата значимост на дозиметрични данни от апаратурата Люлин-МО за оценки на радиационното натоварване на апаратурата и екипажа като важна част от планирането на всяка космическа мисия.

Определените характеристики на Люлин-МО дават възможност за правилното построяване на спектъра на предадените енергии в телескопа и единичния детектор и последващо определяне на спектъра на ЛПЕ и средния качествен фактор $\langle Q \rangle$. Показано е, че засенчването на потока ГКЛ от Марс е основна причина за по-ниските стойности на потоците и мощностите на дозите в орбита около Марс в сравнение с тези в свободното междупланетно пространство. Създаденият числен модел дава резултати, които са близки до експерименталните и изяснява характера на регистрираните сигнали от детекторната система на апаратурата Люлин-МО. Получените стойности от двата телескопа са в добро съответствие (в рамките на неопределеността на величините) с определените от единичните детектори стойности. Това демонстрира коректността и надеждността на създадения алгоритъм за реконструиране на измерения ЛЕП спектър.

Най-същественият, по моя преценка, принос на дисертанта е, че той активно е спомогнал за убедителното представяне на доказателства за реалните възможности на прибора Люлин-МО за получаване на достоверни дозиметрични данни при отговорни научни и приложни космически изследвания.

Публикации по дисертационния труд и личен принос на дисертанта

По темата на дисертацията дисертантът е представил общо **6** научни труда (статии в списания с импакт фактор - **2**, доклади - **4**), публикувани в периода 2018-2023 г. Те са в съавторство, колективите са многочислени (**3-24** съавтори), без азбучно подреждане. В **4** от трудовете дисертантът е на първо място в списъка на съавторите и е видно, че адресираните дейности, резултатите и илюстративния материал са пряко включени и анализирани подробно в дисертационния труд.

Дисертантът не е представил данни за цитирания. Справката ми в SCOPUS за Krastev K. от SRTI-BAS даде индекс на Хирш $h=3$. Анализирани са **5** документа в съавторство на К. Кръстев, цитирани **26** пъти без автоцитати от всички съавтори, в това число **14** независими цитирания на статията J. Semkova et al. Icarus 303 (2018), pp. 53-66 (**24** съавтори), единствена от включените в дисертацията.

Останах с впечатлението, че дисертантът активно е участвал в обработката на данни, прилагането на Монте-Карло базираната изчислителна платформа GEANT-4 при моделиране на орбиталната геометрия, защитата и спектралния отклик на телескопите на прибора Люлин-МО, осмислянето и представянето на конкретни резултати. Основание също да приема, че дисертантът има в достатъчна степен личен принос в декларираните резултати с приносен характер дават изказванията на проф. д-р Йорданка Семкова и доц. д-р Росица Колева, които са сред инициаторите на българския принос към космическата мисия ЕкзоМарс 2016 и са сред основните български съавтори на редица публикации на международния екип по тематиката.

Автореферат

Считам, че авторефератът напълно отговаря на изискванията и отразява достатъчно ясно и точно съдържанието и основните резултати в дисертацията, включително заявените приноси.

Забележки и препоръки

Дисертационният труд е добре илюстриран, изложението, общо взето, е стегнато, но някои текстове са буквален превод на публикациите. Много добро впечатление оставя правилният правопис - допуснати са малко правописни грешки (най-често излишни или спестени букви) и пунктуацията. Обаче в уравнение (1.1) не са въведени означения на величините, четем: “силно йонизиращи частици като желязо”, “скорост на телеметричните данни”, “насищане на електрониката”.

Препоръчвам също използваната терминология да се придържа към българските нормативни документи, например доза от облъчване, а не доза на облъчване, както и да не се използва транскрипция от английски термини: предадена енергия/депозирана енергия, скорост на броене/ каунт рейт (count rate, в текста и в легенди към фигури), погълната доза/абсорбирана доза, импортиран, аеробрейкинг и т.н.

Други въпроси, по които рецензентът счита, че следва да вземе отношение:

Нямам съвместни публикации с дисертанта и не съм свързано лице с него в смисъла на чл. 4 от ЗРАСБ. Не съм забелязал проява на плагиатство в дисертацията и автореферата. Нямам принципи възражения относно достоверността на изложените резултати и заключения.

Заклучение с ясно становище

Представеният дисертационен труд отговаря на изискванията на Закона за развитие на академичния състав и придружаващия го Правилник, както и на вътрешните Правилници за неговото прилагане в БАН и ИКИТ-БАН за придобиване на ОНС „Доктор”.

Реализирана е актуална образователна и изследователска програма като дисертантът е участвал активно в подготовката и изпълнението на важни етапи на изпитването и програмното обезпечаване на детектора Люлин-МО при реализиране на проекта EchoMars TGO. Може да се направи извод за изградена професионална компетентност и потенциал на дисертанта за самостоятелна изследователска работа.

Въз основа на анализа на материалите по процедурата и съдържанието на представения дисертационен труд, предлагам на почитаемите членове на Научното жури да гласуват „ЗА” присъждане на образователната и научна степен “ДОКТОР” в област на висше образование 4. Природни науки, математика и информатика, професионално направление 4.1 Физически науки (Физика на океана, атмосферата и околоземното пространство) на магистър Красимир Николаев Кръстев.

София, 30 ноември 2023 г.



Рецензент:

проф. д-р Кирил А. Крежов/