

**СТАНОВИЩЕ**  
**Върху дисертационния труд на**  
**Красимир Николаев Кръстев**  
**задочен докторант в Институт за космически изследвания и технологии към**  
**Българска академия на науките (ИКИТ-БАН)**  
**в област 4.1 Физически науки; (научна специалност 01.04.08 „Физика на океана,**  
**атмосферата и околоземното пространство“)**  
**на тема "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"**

**От проф., дфн Йорданка Семкова, ИКИТ – БАН**

Настоящото становище е изготвено в съответствие с решение на НС на ИКИТ-БАН (протокол №6/08.11.2023) и заповед 114/09.11.2023 на Директора на ИКИТ-БАН и в съответствие с решение на Научното жури (протокол №1/15.11.2023г).

Формална допустимост

От предоставените административни материали по докторантурата, от дисертационния труд и автореферат, както и от публикациите на дисертанта по темата на дисертацията, се вижда че са удовлетворени формалните изисквания и са на лице условията за стартиране на публична защита на дисертационния труд. Предварителната защита на дисертацията е проведена на 28.10.2023 на разширен научен семинар на секция Слънчево-земна физика (СЗФ) на ИКИТ-БАН по заповед № 105/20.10.2023г на Директора на ИКИТ-БАН. Семинарът прие препоръка за откриване на процедура по защита на дисертационния труд.

Кратки данни за дисертанта

Красимир Николаев Кръстев има магистърска степен по физика от СУ "Климент Охридски". Има специализация по ядрени взаимодействия и елементарни частици.

Красимир Кръстев работи в секция СЗФ в ИКИТ-БАН от 2013г последователно като асистент и специалист с висше образование.

От 2015г е задочен докторант в секция СЗФ на ИКИТ-БАН, зачислен със заповед № 04 от 12.01.2015 г. Общо за обучението си като докторант има 706 кредита от минимално необходими 250. Отчислен е с право на защита, считано от 01.01.2019г със заповед 13/18.01.2019г на директора на ИКИТ-БАН.

Научните му интереси са в областта на изследване на йонизиращата радиация в космоса.

Общо за кариерата си в ИКИТ-БАН Красимир Кръстев има 6 публикации в списания с импакт фактор, 14 публикации в списания без импакт фактор и над 80 доклади на международни и национални конференции. Участник е в 5 международни проекта и договори на ИКИТ, 1 проект с ФНИ и е ръководител на 1 проект с БАН. Освен по експеримента Люлин-МО за радиационни изследвания в мисия ЕкзоМарс TGO, е работил също по анализ и интерпретация на данните от прибора Люлин-5 за измерване на радиационните характеристики в тъканно-еквивалентен фантом на МКС. Работил е и по експеримента Люлин-МЛ на несъстоялата се мисия ЕкзоМарс 2022-марсианска платформа. Има над 50 цитата в публикации, реферирани в Web of Science и/или SCOPUS.

### Актуалност на темата

Екзо-Марс е съвместна мисия на Европейската космическа агенция (ЕКА) и Роскосмос за изследване на Марс, изведена в космоса през 2016г. Един от експериментите на спътника Trace Gas Orbiter (TGO) на тази мисия е Liulin- MO (Люлин-МО) - дозиметър на космическа радиация, чиято основна задача е изследване на радиационните условия по трасето и в орбита около Марс. Liulin- MO е създаден в ИКИТ-БАН и е модул от руския неутронен детектор FRENД на борда на TGO. Провеждани с Liulin- MO уникални изследвания от май 2016 г и до момента са предмет на този дисертационен труд. Уникалността на използваните данни и повишеният интерес в света към изучаване на Марс и Луната, включително чрез пилотирани полети, прави изследванията в настоящата дисертация особено актуални.

### Цел и задачи на дисертацията

Основна цел на настоящата дисертационна работа е да се изследват радиационните условия по трасето и в орбита около Марс по данни от апаратурата “Люлин-МО” на борда на спътника “ЕкзоМарс” Trace Gas Orbiter и да се даде максимално точна оценка за компонентите на дозите и потоците космическа радиация (включително вторичната радиация) в междупланетното пространство за периода на измервания по трасето до Марс.

Първата основна задача на дисертацията е анализ и интерпретация на данните за основните дозиметрични величини от Люлин– МО, получени по трасето и в орбити около Марс. Тази задача включва решаването на 5 подзадачи.

Втората основна задача е да се изследва влиянието на вторичните частици при формиране на отклика на детекторната система на прибора Люлин-МО. Тя включва решаването на 8 подзадачи.

### Познаване на тематиката от автора

Показаното в първа и отчасти във втора глави на дисертацията, в които е представено съвременното състояние на тематиката, проблемите за решаване и инструментариума, както и цитираните 115 труда в областта на изследване, от които 6 автоцитата, показват добро познаване и информираност на автора по тези въпроси.

### Обща характеристика на дисертационния труд

Дисертационния труд съдържа 139 страници, от които 132 фигури, 30 таблици и литература, включваща 115 заглавия. Труда включва увод и 5 глави. **В първа глава** са описани и е направен литературен обзор на източниците на йонизираща радиация около Земята, в междупланетното пространство, в орбита и на повърхността на Марс и на техния произход. Дискутирано е значението на йонизиращата радиация и нейното изучаване за бъдещите пилотирани полети до Марс, описана е накратко мисията Екзо-Марс, дадена е литературна справка за провежданите експерименти, приборите и някои предишни резултати за изследвания на йонизиращата радиация по трасето, около и на повърхността на Марс, и е показана ролята и значението на прибора Люлин-МО на ЕхоMars TGO, чийто изследвания и резултати са дискутирани в следващите глави на дисертацията. **Във втора глава** са описани научните задачи, конструкцията, принципа и методологията на измерване на основните дозиметрични величини от спектрометра за измерване на заредени частици Люлин- МО на спътника TGO на Екзо-Марс. Описана е методологията за изчисление на спектрите на депозиран енергии, спектъра на линейно поглъщане на енергията (LET) във вода, средният качествен фактор на радиацията, погълнатата доза, потока частици и дозовия

еквивалент. Създадена е методика и е изчислен калибровъчния коефициент, по който трябва да се умножи дозата, получена от телескопа на Люлин-МО, за да се получи пълната доза в единичния детектор. В Глава 3 на дисертацията са представени данни, получени от Liulin-МО на борда на спътника TGO по време на полета и на орбита около Марс. Направено е сравнение на данните, получени при подобни измервания, от други прибори. Изследван е засенчващия ефект на Марс върху измерените потоци и мощности на дозите. Аналитично са изведени средните дължини на пътя, който изминава частица в единичния детектор и в детектор от телескопа на Люлин-МО. Дадено е описанието на алгоритъм, базиран на числени симулации, описани в Глава 4, по който се реконструира експериментално получения LET спектър от телескопа и се изчиства от фалшиви сигнали, предизвикани от съвпадения с вторични частици. В Глава 4 са изложени резултатите от серията симулации, които са направени за различни защити на детекторната система на Люлин-МО. Дадена е количествена и качествена оценка на приноса на вторичните частици при формиране на отклика на детекторите. Дадена е класификация на получените от симулацията вторични събития според механизма на тяхното формиране. Показан е приносът на отделните компоненти от спектъра на галактичните космични лъчи към сумарната доза и LET спектър. Глава 5 е заключителна, в нея са обобщени получените резултати и са посочени авторските приноси. Представени са бъдещите планове за развитие на тематиката. Даден е списък на публикациите на докторанта използвани в дисертацията, а така също и списък на цитираната литература.

Считам, че целта на дисертацията и всички поставени задачи, и подзадачи са постигнати.

#### Автореферат

Авторефератът в обем 45 страници дава синтезирана представа за всички глави на дисертационния труд и отразява основните резултати в тях. В него са представени и авторските приноси, и използваните в дисертацията научни трудове на автора.

#### Общо впечатление от дисертацията и автореферата

Дисертацията е резултат от задълбочени изследвания на автора в много важна тематична област за секция СЗФ и за ИКИТ-БАН. Тя показва задълбочено познаване на тематиката и сериозния анализаторски потенциал на автора, и демонстрира възможностите му за самостоятелно решаване на важни научни и научно-приложни задачи.

#### Авторски приноси

Авторът е формулирал общо 7 приноса, 4 от тях се отнасят към първата основна задача на дисертацията и 3- към втората основна задача. Считам, че така формулираните приноси отразяват точно главните резултати, постигнати по работата върху дисертацията. Приносите са научни и научно-приложни. Като ръководител на експеримента Люлин-МО на мисията ЕкзоМарс, научен ръководител на дисертанта и съавтор на всички негови публикации по дисертацията, заявявам че: приносите 1, 2 и от 4 до 7 са лично дело на дисертанта, а в принос 3 той има много съществено участие.

#### Публикации по дисертацията

Дисертацията е базирана на 2 публикации на автора в списания с импакт фактор ("ICARUS", IF 3.2, Q1 и "Доклади БАН", IF 0.329, Q3), като във втората публикация докторантът е водещ автор, и на 4 доклада в пълен текст в сборници от международни конференции, като в 3 от докладите той е водещ автор.

По публикацията в ICARUS има забелязани 27 цитата в публикации, реферирани в Web of Science и/или SCOPUS, които не са отразени в материалите по дисертацията.

#### Значимост на резултатите от дисертацията

Резултатите, постигнати в работата по дисертацията имат много важно значение за анализа и интерпретацията на данните от експеримента Люлин-МО на борда на спътника ЕкзоМарс TGO и за обогатяване на знанията за радиационната среда по трасето и в орбита около Марс. Особено важни по мое мнение са резултатите, свързани с изследване на засенчващия ефект от Марс върху измерваните потоци частици и мощности на дозата, както и численото моделиране на апаратурата Люлин-МО, и измерваните от нея дозиметрични величини с използване на софтуера GEANT4. Много важен резултат от моделирането е направената оценка на приноса на вторичните частици при формиране на отклика на детекторите и определянето на приноса на отделните компоненти от спектъра на галактичните космични лъчи към сумарната доза и LET спектър, както и оценката на преобладаващите енергии на протоните на двете значими събития на слънчеви енергийни частици, наблюдавани в орбита около Марс. Направеното моделиране дава възможност и да се верифицират, и детайлизират данните от измерванията, което е изключително важно, като се има предвид че само още 1 друга апаратура предоставя експериментални данни за радиационните величини по трасето до Марс и то в друг цикъл на слънчевата активност, а в орбита около Марс Люлин-МО е единствената апаратура в света, която измерва радиационните характеристики. Горните резултати бяха много важни и за изпълнението на договор No. 4000133961/21/NL/SC „Application of the data received from Liulin-МО dosimeter aboard ExoMars TGO (TGORad)” на секция СЗФ в ИКИТ-БАН с ЕКА по програма PECS, който беше успешно приключен през юли 2023г. Много важни са също перспективите за приложение на разработените методи и алгоритми за анализ на новопостъпващи данни от Люлин-МО, както и възможностите за приложение на създадената методика при проектиране на бъдещи космически дозиметрични телескопи. Радиационните изследвания в космоса, провеждани от специалистите на ИКИТ-БАН в продължение на повече от 35 години, са общопризнати в световните научни среди в тази област и настоящият дисертационен труд е принос в това много важно тематично направление за института.

#### Забележки и препоръки

Забележките и препоръките ми в процеса на работа върху дисертацията са отразени в предоставените дисертация и автореферат. Забелязват се печатни грешки, които не влияят върху качеството на дисертационния труд.

#### Лични впечатления

Познавам и работя съвместно с Красимир Кръстев от постъпването му в ИКИТ-БАН през 2014 г. През това време и в процеса на работа над дисертацията си, той се изгради като учен, способен самостоятелно и в колектив да решава сложни научни, и научно-приложни задачи. Мога да препоръчам повече организираност, целеустременост и активност в бъдещите му научни изследвания.

#### Заключение

**На основа на изложеното по-горе, съм убедена във високото качество на дисертационния труд на Красимир Николаев Кръстев на тема "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", който напълно отговаря на изискванията на ЗРАСРБ, правилника към него и правилниците на БАН и ИКИТ-БАН за присъждане на ОНС "доктор", поради което му давам положителна оценка.

Съгласно Правилниците за приложение на ЗРАСРБ, сумата от показателите 5 до 10 от група показатели Г е 40 точки при изискуем минимум за ОНС "доктор" по тези показатели 30 точки.

Считам, че присъждането на ОНС "доктор" на Красимир Николаев Кръстев ще допринесе съществено за още по-успешно развитие на тематиките и повишаване нивото на научните изследвания, по които се работи в ИКИТ-БАН, и по-специално в секция "Слънчево - земна физика". Поради това, с пълна убеденост предлагам на уважаемите членове на научното жури да присъдят на Красимир Николаев Кръстев образователната и научна степен "доктор" в област 4.1 Физически науки; (научна специалност 01.04.08 „Физика на океана, атмосферата и околоземното пространство“).

28.11.2023г  
София

Изготвил становището:

  
Проф. дфн Йорданка Семкова

