

ЧИСЛЕНО МОДЕЛИРАНЕ НА ПРИБОРА LIULIN-MO

**Красимир Кръстев¹, Йорданка Семкова¹, Росица Колева¹,
Виктор Бенгин², Сергей Дробишев²**

¹Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките

²State Scientific Center of Russian Federation, Institute of Biomedical Problems, Russian Academy of Sciences
e-mail: werholak@abv.bg

Ключови думи: Числено моделиране, геометричен фактор, галактични космични лъчи (ГКЛ)

Резюме: Представени са резултатите от численото моделиране на дозиметъра Liulin-MO, работещ на борда на спътника Trace Gas Orbiter (TGO) на мисията ExoMars-2016 към Марс [1] с помощта на пакета Geant4. Направена е оценка за приноса на различните компоненти на спектъра на галактичните космични лъчи върху измерваните дози и потоци. Периодът, за който са направени разглежданите симулации, е полетът до Марс от мисията ExoMars-2016.

NUMERICAL SIMULATION OF THE LIULIN-MO DEVICE

Krasimir Krastev¹, Jordanka Semkova¹, Rositza Koleva¹, Viktor Benghin¹, Sergej Drobijshv¹

¹Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences

²State Scientific Center of Russian Federation, Institute of Biomedical Problems, Russian Academy of Sciences
e-mail: werholak@abv.bg

Keywords: Numerical simulation, geometric factor, galactic cosmic rays (GCR)

Abstract: In this paper we present the results of numerical simulation of the Lyulin-MO dosimeter onboard Trace Gas Orbiter (TGO) of ExoMars-2016 mission to Mars [1] using the Geant4 package. The contribution of the individual components of the spectrum of galactic cosmic rays is estimated. The specific period under consideration is the flight to Mars of the ExoMars-2016 mission.

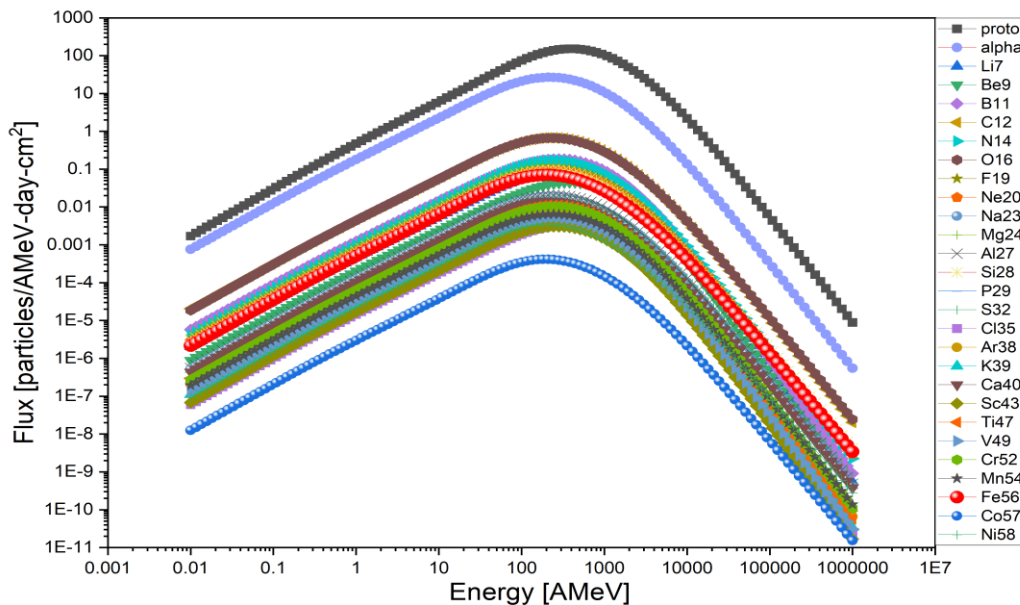
Въведение

Основните причини поради които се налага числено моделиране на даден физически процес или устройство са икономия на ресурси, време и човешки труд. Друга основна причина за прилагането на числени модели е, че по този начин може да бъде оценено влиянието на даден фактор.

Особено наложително е използването на числени симулации при конструирането на регистратори на йонизиращо лъчение. Необходимостта от моделиране, тук е продиктувана от сложността на физическите процеси, които протичат, както в самия детектор така и в обкръжаващата го среда. Интерпретацията на получените експериментални резултати трябва да отчита множество фактори като геометрията и материалите на конструкцията на прибора, геометрията на потока и състава йонизиращо лъчение и т.н. Съществуват множество програмни пакети за моделиране на преминаване на лъчението през веществото. Някои от тях са предназначени за конкретни задачи и лъчения. Geant4 е един от най-мощните пакети, който включва голям набор от възможности и дава голяма свобода при моделирането на най-различни задачи [2]. Той е разработен от Geant4 Collaboration (CERN и други институти) на обектно ориентирания език C++. Областта на приложение на Geant4 включва физика на елементарните частици и изследване на ядрените реакции, медицина, ускорители на частици и космически изследвания.

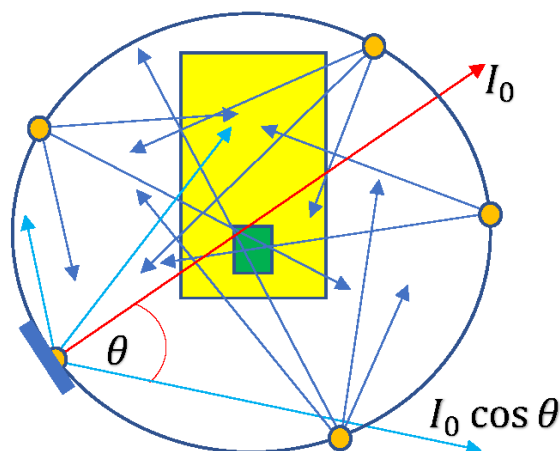
Методология на моделиране на дозиметъра Liulin-MO

Подходът, който се използва при моделирането на прибора е изложен в [3, 4]. За всяка частица и съответната и енергия от спектъра на галактичните космични лъчи (ГКЛ), се генерира изотропен поток частици с еквивалентни на дадената частица характеристики. Източник на генерираните частици се явява сфера с радиус 15 cm. Центърът на сферата съвпада с центъра на детекторната система. Целият прибор се намира вътре в сферата. Размерът на сферата се избира от съображения за икономия на броя генерирани частици и съответно машинно време. Разпределението на изотропния поток, генериран от сферата, трябва да бъде косинусово [3]. Периодът от време, който разглеждаме е полетът до Марс от мисията *ExoMars-2016*. Съответното разпределение за потока ГКЛ се взема от базата данни на НАСА OLTARIS (<https://oltaris.larc.nasa.gov/>), Фиг. 1. Използва се моделът на ГКЛ на Badhwar O'Neil (BON 2020).



Фиг. 1. Спектър на галактичните космични лъчи на разстояние 1 AU, Oltaris, VO-20, Exomars 2016 - cruise

Броят частици, които се генерират за всяка компонента от спектъра на ГКЛ е различен. За протоните и алфа частиците се генерират по 10^8 , а за всяка от останалите компоненти по 10^7 частици. На Фиг. 2 е показана принципната схема на симулацията. Корпусът на прибора Liulin-MO е показан в жълт цвят, детекторната система е обозначена със зелен цвят. Точките от сферата служат като източници на генерирани частици, разпределението на генерираните частици се явява косинусово.



Фиг. 2. Принципна схема на числената симулация

Следвайки [3] може да се изведат следните формули за геометричния фактор и скоростта на броене (count rate) на детектора:

$$(1) \quad G = \frac{n}{N} 4\pi^2 R^2$$

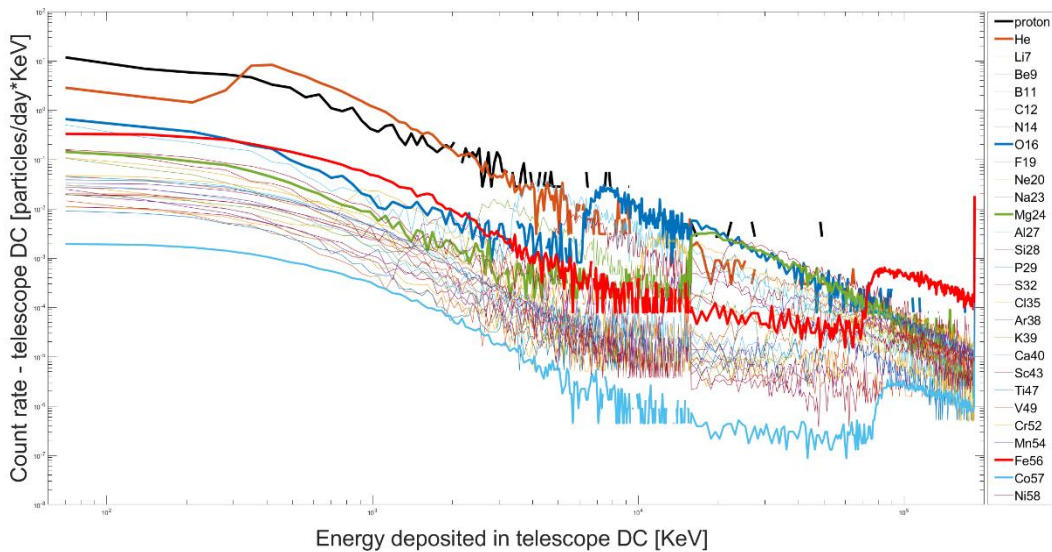
тук G е геометричният фактор, n е броят на регистрираните частици, N – броят генерирани частици, R – радиусът на окръжността.

$$(2) \quad C = \frac{n}{N} \pi R^2 J$$

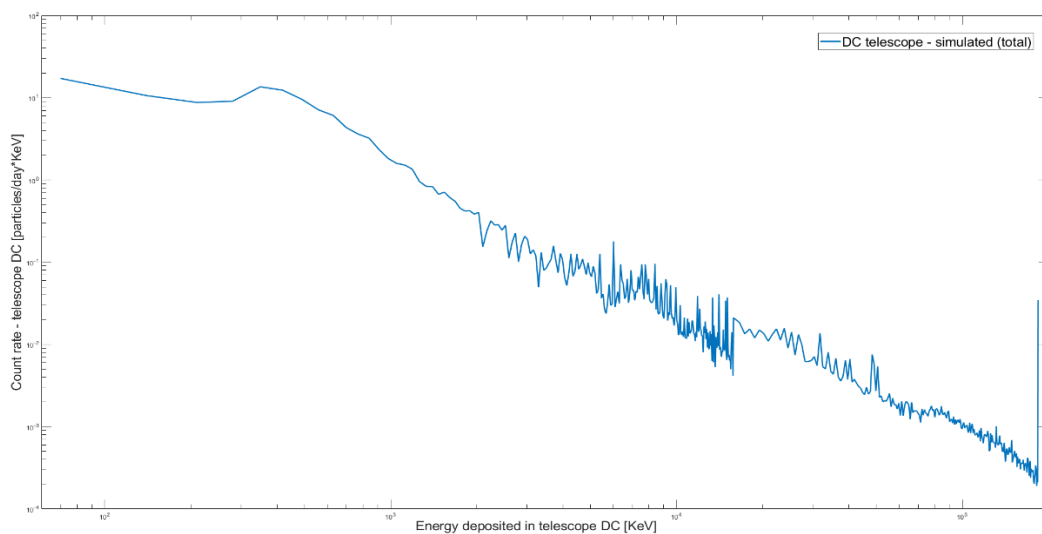
където C е count rate на детектора, J е потокът ГКЛ получен от Oltaris.

Резултати

Основна цел на настоящата работа е да даде качествена и количествена оценка за приноса на отделните компоненти на ГКЛ в общия измерен спектър от прибора. На Фиг. 3 е показано в кой енергиен диапазон попада и какъв count rate има всяка компонента от Фиг. 1. Сумарният спектър е показан на Фиг. 4.



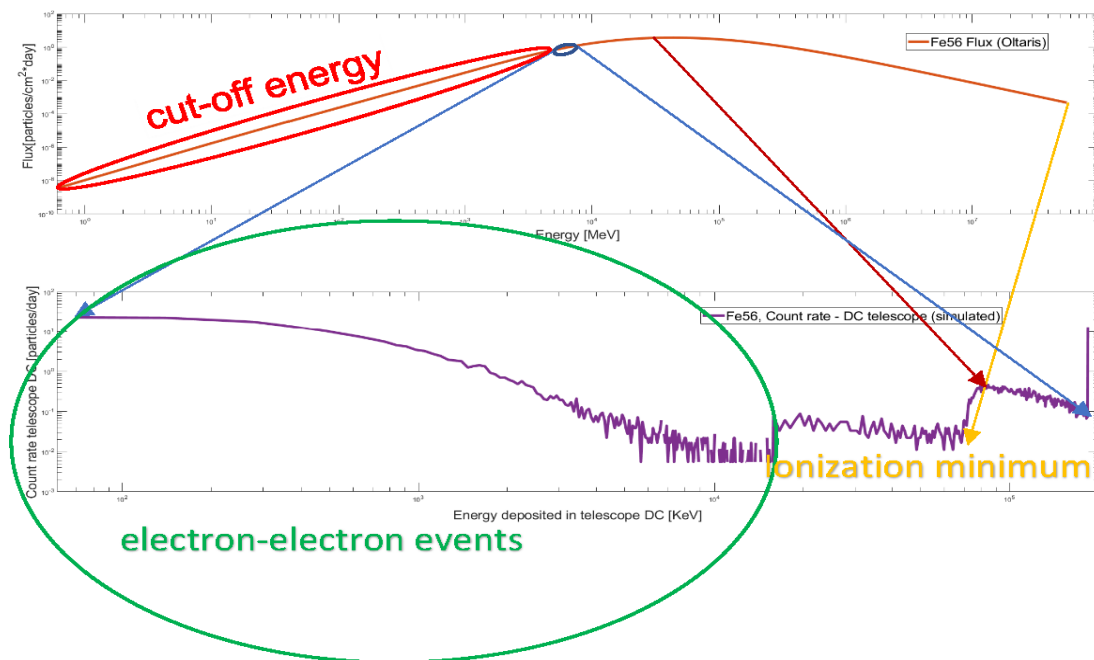
Фиг. 3. Симулирания count rate на компонентите на ГКЛ за телескопа DC на прибора Liulin



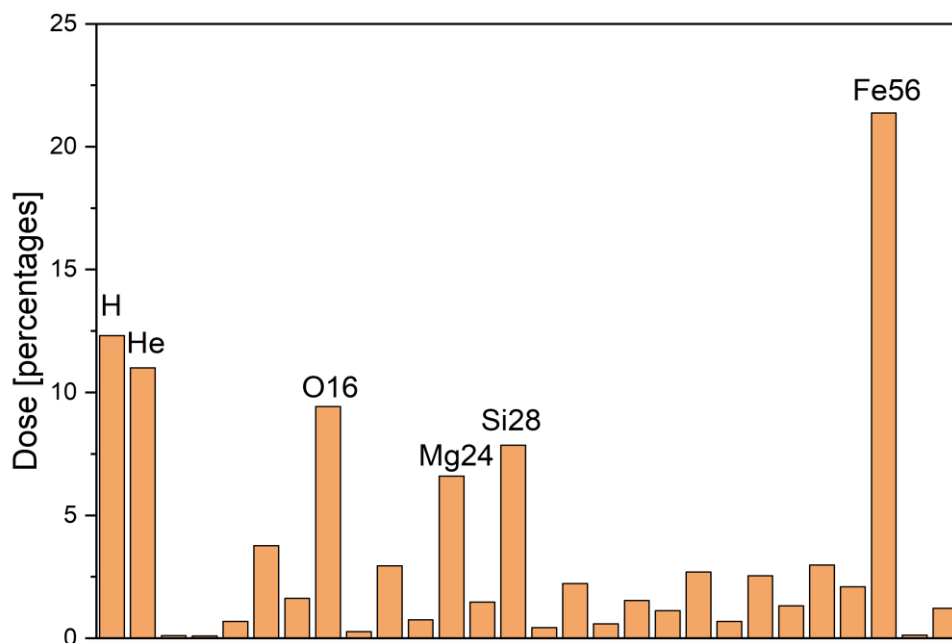
Фиг. 4. Сумарен спектър (симулиран)

На Фиг. 5 е показано съответствието между входния и симулирания спектър на желязото. Най-високоенергийната част от входния спектър се проектира в точката около йонизационния минимум. Областта заградена в зелено отразява предимно случаите, в които във всеки от

двата детектора на телескопа се регистрират само вторични електрони. От Фиг. 6 може да се види какъв принос има всяка компонента от спектъра на ГКЛ при определяне на дозата.

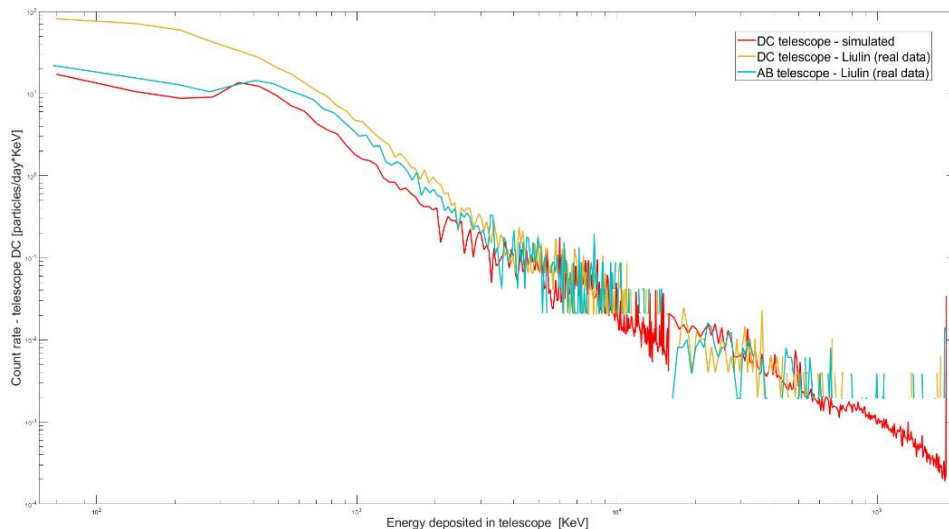


Фиг. 5. Входен и изходен (симулиран) спектър на желязото



Фиг. 6. Дозата за всяка компонента на ГКЛ в проценти

На Фиг. 7 е показан резултатът от сравнение на моделираните и измерените спектри на линейно поглъщане на енергията (ЛПЕ) в 2-та дозиметрични телескопа на Люлин-МО, получени по време на полета до Марс от мисията *ExoMars-2016*. Вижда се добро съвпадение, с изключение на високоенергичната част на спектрите, което ще се използва при верификацията на измерените спектри на ЛПЕ от дозиметъра Люлин-МО.



Фиг. 7. Сравнение между моделни и експериментални спектри на ЛПЕ от Liulin-MO на TGO по време на полета към Марс.

Заклучение

Получените резултати показват какви възможности предоставя численото моделиране при анализа на експерименталните данни, получени при регистрация на йонизиращо лъчение.

Освен приноса на първичните частици, симулацията позволява да се оцени приноса към измерваните радиационни величини от вторичните частици, получени при взаимодействието на лъчението с конструкцията на прибора.

Резултатите от моделирането ще бъдат използвани за верификация и корекция на измерените спектри на линейно поглъщане на енергията на борда на ЕкзоМарс 2016 от дозиметъра Люлин-МО.

Благодарности

В България работата е подкрепена от договор КП-06-РУСИЯ 24 на ИКИТ-БАН с Фонд за научни изследвания по „Конкурс за проекти по програми за двустранно сътрудничество 2018 г. – България – Русия 2018–2019 г.

Литература:

1. Semkova, J., et al, 2018. Charged particles radiation measurements with Liulin-MO dosimeter of FRENDO instrument aboard ExoMars Trace Gas Orbiter during the transit and in high elliptic Mars orbit, *Icarus*, Vol. 303, Pp 53-66, <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2017.12.034>
2. S. Agostinelli et al., „Geant4 – a simulation toolkit“, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, Vol. 506, Issue 3, Pages 250-303, 2003.
3. X. Zhao et al., „A Geometric Factor Calculation Method Based on the Isotropic Flux Assumption“, *CP*, 37, 126201, 2013.
4. S. Pak et al., „A numerical method to analyze geometric factors of a space particle detector relative to omnidirectional proton and electron fluxes“, *Journal of the Korean Astronomical Society*, August 2018