

УДК 524.1

**Галактическое излучение и его влияние на оборудование
и экипаж космических аппаратов**

Г.В. Бондаренко

Научный руководитель: старший преподаватель А.Д. Побережников
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: gvb6@tpu.ru

Galactic radiation and its effect on spacecraft equipment and crew

G.V. Bondarenko

Scientific Supervisor: senior lecturer A.D. Poberezhnikov
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: gvb6@tpu.ru

Abstract. *The study examines materials used in spacecraft construction for protection against galactic cosmic radiation. The characteristics of various shielding materials are analyzed based on their effectiveness in radiation attenuation, low specific weight, cost efficiency, mechanical strength, radiation resistance, and ease of installation. Traditional materials, such as aluminum and titanium alloys, as well as advanced composites, including hydrogen-rich polymers and nanomaterials, are considered. The results highlight the advantages and limitations of different materials and emphasize the need for further development of efficient radiation shielding solutions for long-duration space missions.*

Key words: *galactic cosmic rays, high-energy particles, spacecraft materials, secondary radiation, shielding efficiency.*

Введение

В обширном спектре физических явлений, влияющих на безопасность космических полетов, особое место занимает проблема воздействия космического излучения. Высокоэнергетические частицы, непрерывно бомбардирующие Землю из глубин космоса, порождают вторичное излучение при взаимодействии с материалами космического аппарата и тканями человеческого тела. Данное вторичное излучение вносит существенный вклад в дозовую нагрузку на космонавтов, представляя серьезную угрозу их здоровью. В связи с этим, исследование эффективных методов защиты от него приобретают особую актуальность. Изучение новых материалов и их комбинаций, способных минимизировать негативное воздействие вторичного излучения на организм человека, является особо важным условием для дальнейшего освоения космического пространства и обеспечения безопасности космонавтов. Таким образом, целью работы является обзор материалов, применяемых в конструкции космических аппаратов для защиты от галактического излучения [1].

Экспериментальная часть

Космические лучи представляют собой поток высокоэнергетичных ядер атомов, в основном протонов, которые образуются и ускоряются в космическом пространстве. Различают первичные и вторичные космические лучи. К первичным относятся высокоэнергетичные космические лучи, пришедшие на Землю из-за пределов Солнечной системы, с галактическим или внегалактическим происхождением, а также солнечные космические лучи с умеренными энергиями, связанные с активностью Солнца. Наибольшую опасность представляют именно галактические космические лучи, поскольку они обладают самой высокой энергией и требуют особого внимания при разработке методов защиты космонавтов и оборудования на длительных космических полетах [2].

В теории Гинзбурга-Сыроватского происхождение галактических космических лучей (ГКЛ) объясняется взрывами сверхновых звезд. Мощные ударные волны от этих взрывов разгоняют заряженные частицы до релятивистских скоростей. Многократные столкновения частиц с фронтом ударной волны приводят к их ускорению, в результате чего частицы приобретают колоссальную энергию, характерную для ГКЛ. Главную роль среди компонентов ГКЛ играют протоны, которые составляют около 90 % общего числа частиц. Ядра гелия составляют примерно 9 %, а оставшийся 1 % включает электроны, позитроны, антиадроны и тяжелые ядра, включая элементы, такие как литий, бериллий, бор, углерод, кислород и другие. На графике видно, что в ГКЛ наибольшее содержание водорода и гелия.

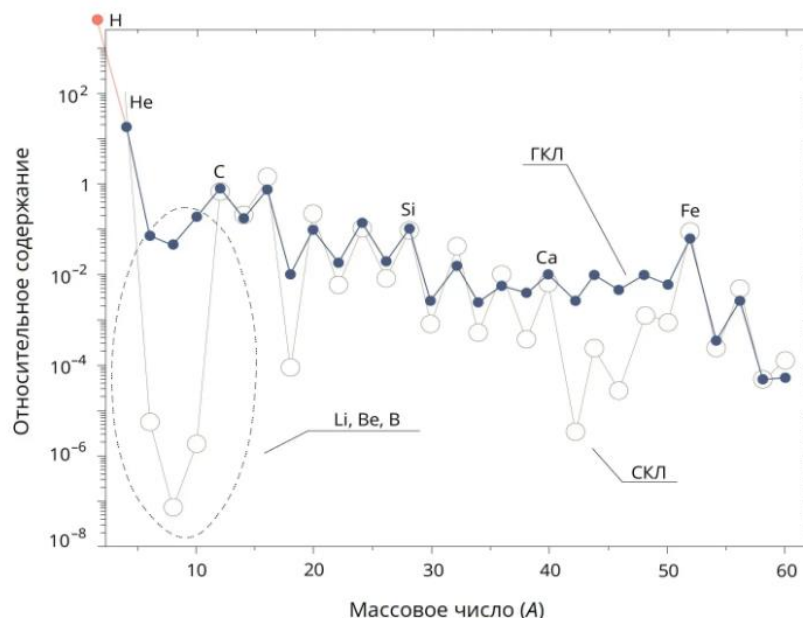


Рис. 1. Среднее относительное содержание атомных ядер различных химических элементов в галактических (ГКЛ) и солнечных (СКЛ) космических лучах. Содержание углерода C принято равным 1,0

Микроэлектроника — важнейший компонент современных КА, особенно уязвимый к воздействию ГКЛ. ГКЛ представляют наибольшую опасность для микроэлектроники, как правило, с точки зрения генерации одиночных эффектов. Явления одиночных эффектов могут быть классифицированы как мягкие ошибки — одиночный сбой, и жесткие ошибки, такие как эффект защелки, эффект прогорания p-n перехода и т.д. При появлении одиночного сбоя, сброс или перезапись устройства приводят к нормальному функционированию. Жесткие же сбои приводят к отказам, которые исключают возможность восстановления перезапуском, т.е. функциональность устройства повреждается навсегда.

Для повышения устойчивости электронного оборудования КА к одиночным эффектам используют, например, дублирование систем. Тем не менее проблема данная проблема продолжает оставаться весьма актуальной.

Оценка радиационного воздействия на космонавтов является важной частью планирования пилотируемых космических полетов, особенно в околоземном пространстве. Для этой оценки анализируются потоки частиц космических лучей (КЛ), которые проходят через защиту, такую как корпус космического аппарата (КА) и скафандр, а также вторичные частицы, возникающие в результате ядерных взаимодействий в материале защиты. Количественная оценка радиационного воздействия на человека производится с использованием дозиметрических величин, таких как поглощённая и эквивалентная дозы, которые позволяют определить степень биологического повреждения тканей и органов. Эти дозы регулируются соответствующими нормативными документами. При расчете доз частиц ГКЛ учитываются стандартные условия, когда широкий пучок частиц нормально падает на полубесконечный слой вещества. Вторичные излучения, возникающие при

прохождении ГКЛ через защиту, могут значительно увеличить суммарную дозу, достигая 50–100 % от общего воздействия. Эти вторичные излучения, включая нейтронный компонент, оказывают значительное влияние на эквивалентную дозу радиации

Проектирование и изготовление космических аппаратов (КА) требует тщательного выбора материалов, способных обеспечивать надежную и долговечную работу в экстремальных условиях космической среды. Влияние галактических космических лучей (ГКЛ), солнечных космических лучей (СКЛ), радиации пустоты, перепадов температур, вакуума и микрометеороидов играет ключевую роль в выборе конструкционных материалов. Металлы традиционно занимают важное место в создании КА благодаря высокому сочетанию прочности, жесткости, теплопроводности и технологичности. Среди самых распространенных материалов для изготовления космических аппаратов – алюминиевые сплавы, а также титан, сталь, молибден, вольфрам, ниобий и тантал, которые применяются для различных частей корабля, от обшивки до двигательных установок.

Однако опыт эксплуатации КА выявил определенные ограничения традиционных материалов. В частности, сплавы на основе алюминия, магния и титана имеют ограниченную стойкость к воздействию высокоэнергетических частиц ГКЛ. Это побудило разработку новых материалов, которые должны удовлетворять ряду требований: термостойкости, жаропрочности, криогенной стойкости, прочности и жесткости, устойчивости к вибрационным нагрузкам и вакууму, а также выдерживать удары микрометеороидов и космического мусора. Особенно важна радиационная стойкость, так как космические аппараты постоянно подвергаются воздействию интенсивной радиации, что делает этот параметр критичным для долговечности и безопасности КА. Особое внимание уделяется разработке полимерных композитов с наночастицами, которые обладают повышенной радиационной стойкостью и улучшенными механическими свойствами. Наночастицы действуют как центры захвата радиационных дефектов, предотвращая их распространение и накопление в материале [3].

Заключение

В данной работе был проведен анализ проблемы защиты космических аппаратов и космонавтов от воздействия галактического космического излучения. Было установлено, что ГКЛ, представляющее собой поток высокоэнергетических частиц, является одним из основных факторов радиационной опасности в космосе. Взаимодействие ГКЛ с материалами КА и тканями человеческого тела приводит к генерации вторичного излучения, которое вносит существенный вклад в дозовую нагрузку на космонавтов и может вызывать различные негативные последствия для их здоровья. В ходе работы были проанализированы состав и характеристики ГКЛ, рассмотрены основные механизмы взаимодействия ГКЛ с материалами, а также изучено влияние ГКЛ на КА и космонавтов. Особое внимание было уделено анализу материалов, используемых для защиты от ГКЛ. В целом, проблема защиты от ГКЛ является актуальной и требует дальнейших исследований.

Список литературы

1. Amsler C., Olive K.A., Agashe K. et al. Review of Particle Physics // Physics Letters B. – 2008. – Vol. 667. – P. 1–1340.
2. Thoudam S., Rachen J.P., van Vliet A., Achterberg A., Buitink S., Falcke H., Hörandel J.R. Cosmic-ray energy spectrum and composition up to the ankle: the case for a second Galactic component // Astronomy & Astrophysics. – 2016. – Vol. 595. – P. 33.
3. Новиков Л.С. Радиационные воздействия на материалы космических аппаратов [учебное пособие]. – М.: Университетская книга, 2010. – 192 с.