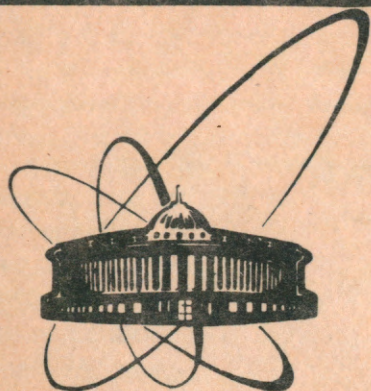


91-241



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

P2-91-241

В. С. Барашенков, А. Н. Соснин, П. И. Тараненко*,
С. Н. Федотов*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
НАВЕДЕННОГО γ -ИЗЛУЧЕНИЯ
В КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

*Московский инженерно-физический институт

1991

Математическое моделирование наведенного γ -излучения
в конструкционных материалах космических аппаратов

Монте-Карловская модель межъядерных каскадов, дополненная программой расчета спектров γ -излучения возбужденных послекаскадных ядер, используется для исследования характеристик наведенной γ -активности в конструкционных материалах Al, Ti, Fe, Cu, W, Pb и в одном из сплавов, подвергающихся на околоземных орбитах воздействию космических частиц и альбедных нейтронов. Учтено влияние Южно-Атлантической аномалии. Рассчитаны спектральные распределения активационного γ -излучения. Показано, что наведенная радиоактивность сравнима, а в ряде энергетических диапазонов превышает фоновое γ -излучение на орбите.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1991

Перевод Е.И.Хижняк

Mathematical Simulation of the Induced γ -Radiation
in Structural Materials of Spaceships

A Monte-Carlo model of internuclear cascades, supplemented with a programme calculating the γ -radiation spectra, emitted by excited aftercascade nuclei is used to investigate characteristics of induced γ -activity in structural materials Al, Ti, Fe, Cu, W, Pb and in one of the alloys exposed to the influence of cosmic particles and albedo neutrons on close-to-earth orbits. The influence of the South-Atlantic anomaly is considered. Spectral distributions of activation γ -radiation are calculated. It is shown that the induced radioactivity is comparable and in some of the energy intervals even exceeds the background γ -radiation on the orbit.

The investigation has been performed at the Laboratory of Computing Techniques and Automation, JINR.

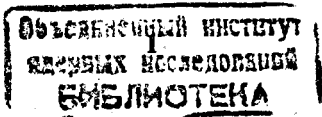
Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1991

Космические аппараты на околоземной орбите и установленная на них научная аппаратура непрерывно подвергаются воздействию внешнего космического излучения. При проведении на околоземных орбитах спектрометрических исследований в области энергий γ -квантов до 10 МэВ наряду с диффузным космическим фоном и атмосферными альбедными γ -квантами необходимо учитывать также фон, создаваемый γ -излучением активированных ядер, образующихся при взаимодействии с деталями спектрометров и конструктивными материалами самих космических аппаратов высокоэнергетических частиц, протонов и многозарядных ионов первичного космического излучения (ПКИ), излучения Южно-Атлантической аномалии (ЮАА) и нейтронов альbedo Земли. Этот фон существенно ограничивает чувствительность γ -спектрометров, определяет радиационную обстановку на борту космического аппарата, поэтому его прогнозирование и поиски путей его уменьшения являются весьма актуальной задачей.

Одним из возможных путей снижения нежелательного фонового γ -излучения является соответствующий подбор конструкционных материалов спектрометров и космических аппаратов, которые обладали бы низким уровнем наведенной радиационной γ -активности в интересующем исследователя диапазоне γ -излучения. Такой подход требует подробных сведений о характеристиках активационного γ -фона в широком энергетическом диапазоне и об их зависимостях от параметров орбиты и времени пребывания на ней.

Прогнозирование наведенной радиоактивности в различного рода детекторах достаточно детально обсуждалось в литературе (см. работы ^{1-6/}, где можно найти дальнейшую библиографию). Хуже обстоит дело с конструкционными материалами космических аппаратов и спектрометрических приборов. Наибольшего внимания здесь заслуживает работа ^{7/}, в которой приведены результаты расчетов активации протонами ПКИ и излучением радиационных поясов Земли конструкционных материалов на основе сплава Al,

Ti и Fe, а также рассмотрен γ -фон космических кораблей многоцелевого назначения MMS и кораблей типа Space Shuttle. Проблеме прогнозирования наведенного γ -фона в коллиматорах на основе свинца и вольфрама посвящена работа ^{8/}. Некоторые данные об активации конструкционных материалов опубликованы в работах ^{9, 10/}, а также в работе ^{11/}, где рассчитываются дозовые характеристики на околоземных орбитах, в том числе и от материалов космических аппаратов. Однако этих



данных недостаточно для решения широкого круга возникающих на практике задач, связанных с обнаружением и регистрацией γ -источников низкой интенсивности в условиях высокого фона.

Поскольку непосредственное экспериментальное исследование широкого круга материалов представляет определенные трудности, основным подходом к этой проблеме в настоящее время является математическое моделирование межъядерных каскадов, инициируемых в материалах космическим и альбедным излучением, с последующим расчетом γ -излучения от большого числа образующихся при этом возбужденных ядер, претерпевающих серию α -, β^{\pm} -распадов и реакций захвата электрона.

Целью нашей работы является исследование таким методом характеристик γ -излучения наведенной активности для наиболее часто используемых материалов Al, Ti, Fe, Cu, W, Pb, а также для сплава, содержащего 79% Al, 8% Ti, 10% Fe и 3% Cu.

Модель и метод расчета

Расчеты выполнены с помощью программного комплекса "Каскад" и "Спектр", описанного в наших работах^{/12-14/}. Его возможности и точность уже иллюстрировались в работах^{/14-15/} на примере сопоставления результатов моделирования и эксперимента по исследованию γ -активационного излучения конструкционных материалов под действием высокоэнергетических протонов. На основе данных о распределении радионуклидов по глубине мишени и ее геометрии учтено поглощение и рассеяние активационного γ -излучения, выходящего из мишени в полный телесный угол 2π .

Рассматривались дискообразные мишени с толщиной от 2 до 30 мм и диаметром 100 см. Такая геометрия позволяла достаточно точно рассчитать удельное γ -излучение наведенной активности (т.е. излучение, испускаемое с единицы площади мишени), поскольку вклад краевых эффектов при этом составляет всего лишь от 1 до 4% общего числа взаимодействий. При расчетах предполагалось, что все рассматриваемые материалы имеют естественный (природный) изотопный состав.

Предполагалось, что мишень бомбардируется изотропным потоком космических частиц из верхней полусферы (относительно нормали к ее поверхности). Вообще говоря, это неправомерно для протонов в области ЮАА, однако за время прохождения спутника через зону аномалии, особенно если он имеет собственное вращение, угловое распределение протонов успевает размыться и стать весьма близким к изотропному.

Моделирование спектра протонов ПКМ и ЮАА с учетом параметров орбиты выполнялось так же, как в наших предыдущих работах^{/8,16/}. При моделировании спектрального состава нейтронов альbedo Земли использовались полуэмпирические зависимости, полученные авторами работы^{/17/}.

Что касается α -частиц и других многозарядных ионов ПКМ, то предварительные расчеты показали, что их вкладом в активационный γ -фон можно пренебречь.

Расчеты γ -фона активационной природы проводились для круговой орбиты с высотой ~ 350 км и наклоном 51° . Находясь на этой орбите, космический корабль четырежды в течение суток пересекает зону захваченной радиации ЮАА, где интенсивность протонного потока возрастает на несколько порядков, хотя спектр протонов в этой области по сравнению со спектром протонов ПКМ заметно мягче. Предполагалось, что время прохождения зоны ЮАА занимает 20 минут, остальные 70 минут полета по орбите до следующего вхождения в ЮАА на космический аппарат действуют только протоны ПКМ. Временная диаграмма (циклограмма) нахождения спутника в зонах ПКМ и ЮАА показана на рис.1. Нейтроны альbedo воздействуют на конструкционные материалы на протяжении всего полета.

В процессе моделирования разгрызались тип и вектор импульса бомбардирующей частицы, координаты точки ее входа в мишень. В качестве радиационных характеристик рассчитывались спектральные составы активационного γ -излучения на поверхности облучаемых мишеней для времен пребывания их на орбите от суток до года.

Спектры наведенной γ -активности

Расчетные спектры для годичной экспозиции на орбите показаны на рис.2-5. В случае тяжелых (вольфрамовой и свинцовой) мишеней приведены также спектры для односуточной экспозиции. Все спектры рассчитаны на момент времени "А" (рис.1), когда космический аппарат после очередного выхода из аномалии в течение 305 минут подвергается воздействию протонов ПКМ. (Напомним, что нейтроны альbedo воздействуют на мишени на протяжении всего времени полета). Стрелками отмечены наиболее интенсивные γ -излучатели.

Из рисунков видно, что наиболее интенсивные γ -линии в среднем в несколько раз превышают уровень диффузного γ -фона. Этот эффект возрастает при переходе к более тяжелым мишеням. В случае вольфрама и свинца интенсивность рассеянной компоненты γ -излучения сравнима с интенсивностью диффузного фона в широком энергетическом интервале, а число γ -линий, превышающих в несколько раз его уровень, достигает нескольких десятков. Это проявляется даже при очень коротких, суточных экспозициях.

По нашим оценкам, вклад от нейтронов альbedo в γ -активационное излучение конструкционных материалов составляет лишь несколько процентов от γ -активности, наведенной протонами ПКМ и ЮАА. Об этом свидетельствует и тот факт, что спектры активационного γ -излучения свинца и вольфрама (рис.5) очень близки к спектральным распределениям, полученным в работе^{/8/}, где не учитывалась γ -активационная составляющая нейтронов альbedo.

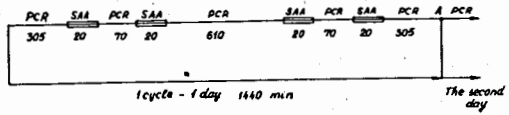
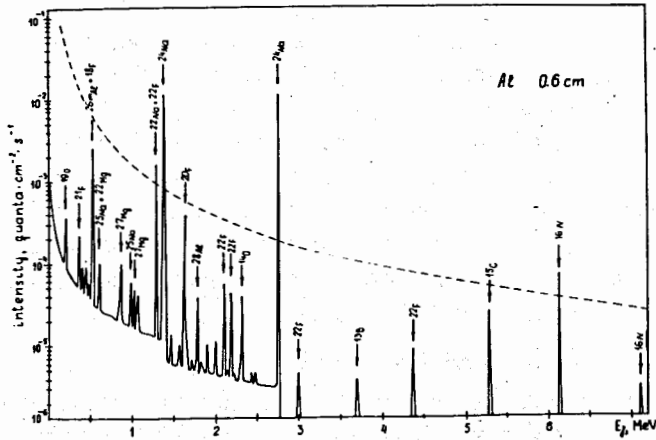
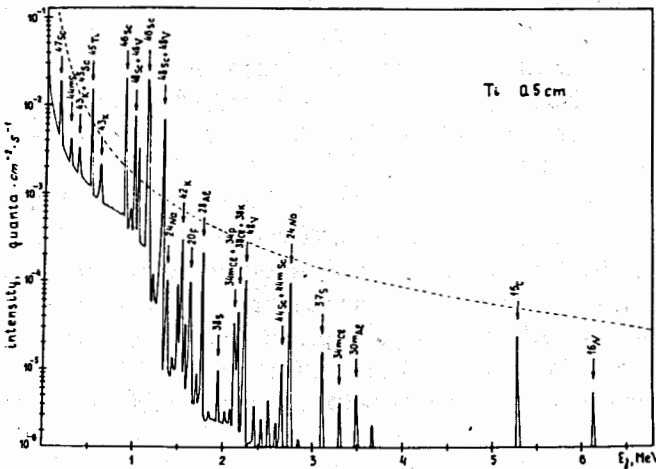


Рис.1. Циклограмма нахождения космического аппарата в зонах ШКИ и ЮАА. Цифры под зонами показывают время пребывания в них в минутах.

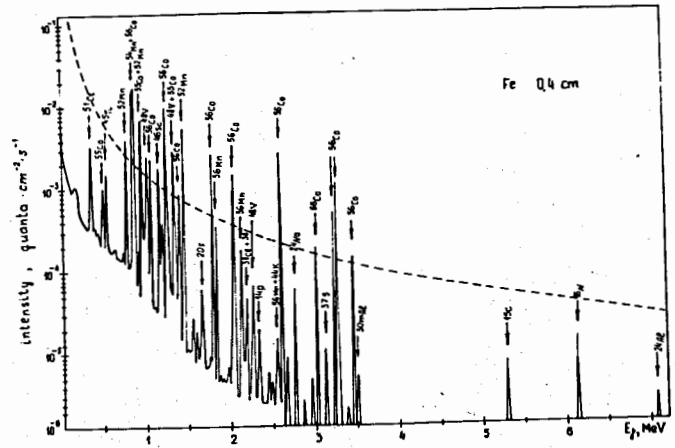


a

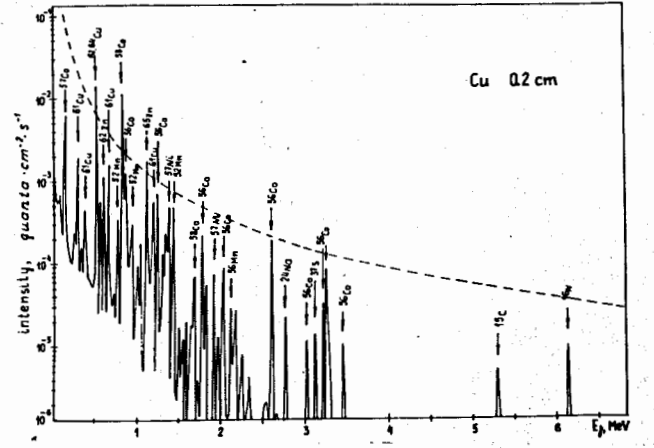


б

Рис.2. Спектр наведенной γ -активности (число квантов/см²·с) в мишенях из Al и Ti. Пунктир - диффузный фон по данным работы /18/. Ширина канала - 20 КэВ.



a



б

Рис.3. То же, что и на рис.2. Мишень из Fe и Cu.

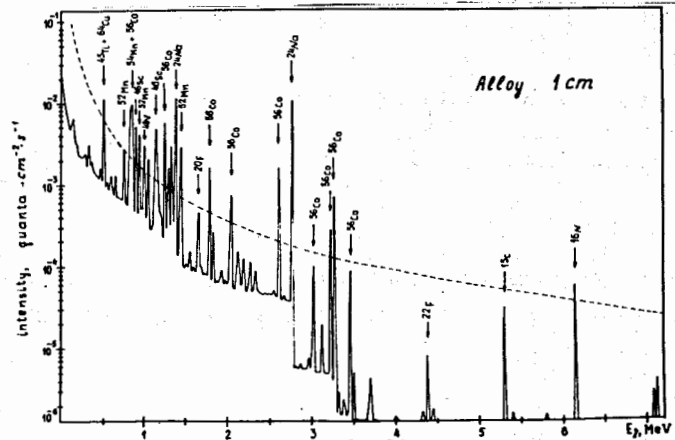
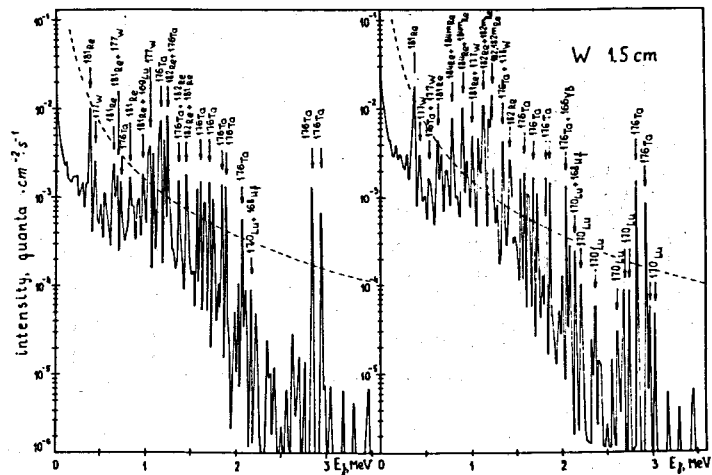
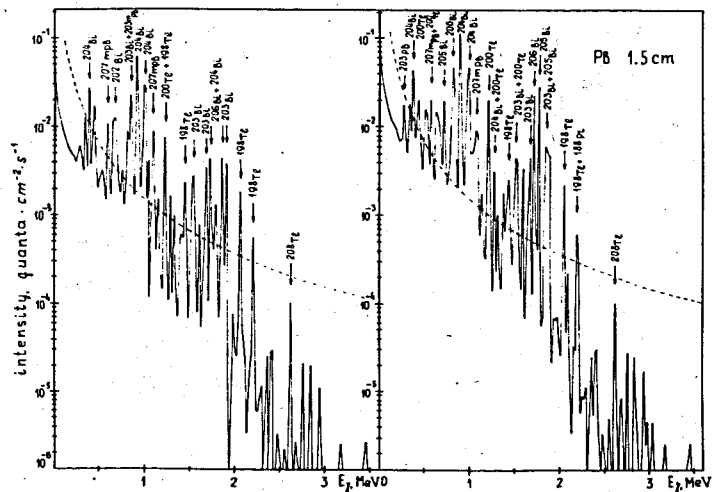


Рис.4. То же, что и на рис.2. Мишень - сплав Al, Ti, Fe, Cu.



a



b

Рис.5. То же, что и на рис.2. Мишень из W и Pb. Левые рисунки относятся к односуточному, правые - к годичному пребыванию на орбите.

Литература

1. Dyer C.S., Trombka J.I., Seltzer S.M., Evans L.G. Nucl.Instr. and Meth, 173(1980)585 .
2. Dyer C.S., Truscott P.R., Comber C., Hammond N.D.A. IEEE Trans. Nucl. Sci, 1987, 34, №6, 1530 .
3. Charalambous P.M., et al. Nucl.Instr. and Meth, A238(1985)533.
4. Pyer C.S. "IEEE Trans.Nucl.Sci," 1984, Vol.NS-31, №6, 1061 .
5. Entwistle A.K. et al. J.Phys.E. 1989, 22, №8, 601 .
6. Dunphy P.P. et al. High-Energy Radiat. Background in Space: Conf., Sanibel Island, Fla, Nov. 3-5, 1987. New York, 1989, 259 .
7. Fischbein W.L. et al. IEEE Trans. Nucl. Sci, 1979, NS-26, №6, 5156.
8. Barashenkov V.S. et al. Nucl.Instr. and Meth., A284(1989) 509.
9. Silberberg R. et al. High-Energy Radiat. Background in Space: Conf., Sanibel Island, Fla, Nov. 3-5, 1987. New York, 1989, 146 .
10. Dyer C.S. et al. "High - Energy Radiat. Background in Space: Conf., Sanibel Island, Fla, Nov 3-5, 1987, New York, 1989, 278.
11. Jordan Thomas M., Stassinopoulos E.G. Adv. Space Res.-1989, 9, No.10, 261.
12. Барашенков В.С. и др. ОИИ, P2-85-173, Дубна, 1985.
13. Морозова И.И., Тараненко П.И., Финогенов К.Г. Сборник научных трудов МИИМ, М.: Энергоиздат, 1982, 69.
14. Barashenkov V.S. et al. Nucl. Instr. and Meth., A292 (1990) 169.
15. Barashenkov V.S. et al., JINR, E2-90-258, Dubna, 1990.
16. Барашенков В.С. и др. ОИИ, P2-86-226, Дубна, 1986.
17. Дубинский Ю. и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 1982, 46, № 9, 1680.
18. Diffuse background of Energetic X-rays, X-and Gamma-Ray astronomy. Rel.Y.- Int. Astron. Union-Symp. Y55, 1973. p.279.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 мая 1991 года.