

Таблица 3
Отношение сечений деления ^{238}U и ^{235}U , б

Настоящая работа	Данные других авторов
$0,576 \pm 0,012$	$0,567 \pm 0,013$ (14,8 МэВ) [12] $0,557 \pm 0,017$ (14,6 МэВ) [9] $0,563 \pm 0,009$ (14,6 МэВ) [13] $0,574 \pm 0,006$ (14,8 МэВ) [14] $0,548 \pm 0,004$ (14,8 МэВ) [15]

пии деления и переносной скорости за счет импульса нейтронов по формуле Карлсона [6] и по формуле, полученной авторами настоящей работы. Результаты расчетов хорошо согласуются. Поправку на рассеяние и поглощение нейтронов рассчитывали методом Монте-Карло для реальной геометрии эксперимента. Статистическая погрешность расчета была не хуже 0,05%. Погрешность полученной поправки определяли в основном погрешностями значений сечений, употреблявшихся в расчете. Об определении поправки на неоднородность мишени упоминалось выше.

Как видно из табл. 2, значения сечения деления ^{235}U группируются около двух значений — 2,07 и 2,20 б, различающихся между собой на 7%. Для ^{238}U опубликованные данные также различаются более чем на 10%. Следует отметить, что более высокие значения для обоих изотопов получены методом измерений относительно стандарта — сечения рассеяния нейтронов на водороде [7, 10]. Абсолютные измерения методом регистрации сопутствующих частиц [9] дают более низкие значения, согласующиеся с полученными в настоящей работе. Такое обстоятельство, возможно, связано с тем, что этот метод позволяет эффективно исключать некоррелированный по времени фон рассеянных нейтронов, который может играть особенно большую роль для пороговых элементов. Следует отметить также, что отношение сечений ^{238}U и ^{235}U , полученное в настоящей работе из двух независимых абсолютных

измерений, хорошо согласуется со значением, полученным непосредственным измерением [12, 14] (табл. 3).

Авторы выражают благодарность П. Раичу (Дебрецен, ВНР) за расчет энергии нейтронов для условий настоящего эксперимента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rev. of Standard Reference Data and Important Cross Sections Discrepancies ANL/ND-77-1; INDC-24/6, Argonne Nat. Lab., 1977, p. 33.
2. Алхазов И. Д. и др. В кн.: Труды конференции «Нейтронная физика». Ч. 4. Обнинск, изд. ФЭИ, 1974, с. 13.
3. Арльт Р. и др. Быстродействующий детектор сопутствующих частиц для измерения сечений деления при энергии нейтронов 14,8 МэВ. Препринт Технического университета 05-3-78. Дрезден, 1978.
4. Гримм В. и др. В кн.: Труды IX Симпозиума по ядерной электронике (Варна, 1977). Дубна, изд. ОИЯИ, 1978, с. 319.
5. Jaffey A. e.a. «Phys. Rev.», 1971, v. C45, p. 1889.
6. Carlson G. «Nucl. Instrum. Methods», 1974, v. 119, p. 97.
7. Soverby M., Patrick B. «Ann. Nucl. Sci. Engng», 1974, v. 1, p. 409.
8. Czirr I., Dishu G. «Nucl. Sci. Engng», 1975, v. 57, p. 18.
9. Cance M., Grenier G. In: Proc. of the NEANDC/NEACRP Specialists Meeting on Fast Neutron Cross Sections of ^{233}U , ^{235}U , ^{238}U and ^{239}Pu . Argonne, 1976, ANL-76-90, p. 237.
10. Leugers B. e.a. Ibid., p. 246.
11. Magurno B. ENDF/B IV Cross Sections Measurements Standards, BNL-NCS-50464, 1975.
12. Cierjacks S. e.a. [9], p. 94.
13. Behrens J., Carlson G., Bauer R. The Lawrence Livermore Laboratory Evaluated Data Library, 1975, Report UCRL-76219.
14. DiFilippo F. e.a. [9], p. 114.
15. Coates M., Ganther D., Pattenden N. In: Proc. of Conf. «Nuclear Cross Sections and Technology». V I. Washington, D. C., 3-7 March 1975, p. 262.

Поступило в Редакцию 24.01.79

УДК 577.3:539.12.04

Экспериментальная база для моделирования излучений, воздействующих в космических полетах

ВОРОБЬЕВ Е. И., КОВАЛЕВ Е. Е., САКОВИЧ В. А.,
СЕРБИНОВ А. Н., БРИЛЛЬ О. Д., ГРИБОВ Б. С., ЗАБОРОВСКИЙ Ю. И.

Одна из специфических проблем осуществления космических полетов — обеспечение радиационной безопасности в связи с воздействием космических излучений, а также ядерных излучений бортовых установок.

Эта проблема включает следующие основные задачи: обоснование нормативных уровней радиации с учетом формирования тканевой дозы космических излучений и особенностей их биологического воздействия;

создание защиты космического корабля с минимальной массой от всех видов излучений, включая использование оборудования и конструкций;

разработка методов измерения и измерения доз космических излучений на борту корабля;

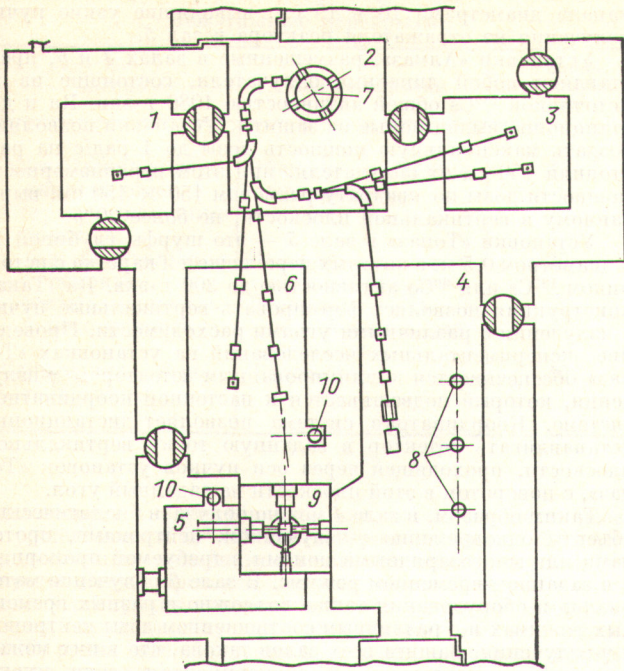
подготовка и проведение дополнительных мероприятий во время и после полета с учетом фактической и прогнозируемой радиационной обстановки вплоть до применения, в случае необходимости, фармакохимической защиты.

Решение этих задач требует большого объема экспериментальных исследований, которые до настоящего времени

проводятся на гамма-облучателях, ускорителях и ядерных реакторах, предназначенных для других целей.

Значительное расширение и углубление исследований по обеспечению радиационной безопасности космических полетов предусматривается созданием специализированной экспериментальной базы — корпуса радиационной безопасности, включающего ядерный реактор СВВ-1, ускоритель протонов и многозарядных ионов Б-5 с системой разводки пучков, две гамма-установки «Алмаз» и три гамма-установки «Топаз» (рис. 1). Протонно-ионный синхротрон Б-5 [1] с возможностью плавной регулировки энергии предназначен для ускорения протонов до 20—200 МэВ и довольно широкого набора ионов до максимальной энергии 50 МэВ/нуклон. Интенсивность выпущенного пучка протонов $2 \cdot 10^{11}$ протон/с при длительности импульса тока до 20 мкс и частоте следования импульсов 50 Гц. Монохроматичность выпущенного пучка ~1%.

Ускоритель представляет собой синхротрон со слабой фокусировкой, в котором находятся четыре 0-образных,



Р и с. 1. Планировка экспериментальных залов корпуса радиационной безопасности: 1—6 — экспериментальные залы; 7 — ускоритель В-5; 8 — гамма-установки «Топаз»; 9 — реактор СВВ-1; 10 — гамма-установки «Алмаз»

шихтованных 90-градусных магнита с многовитковой обмоткой и четыре прямолинейных участка длиной 56 см. Радиус равновесной орбиты 1,4 м.

Магниты, резонатор, системы впуска и выпуска размещены внутри общего вакуумного кожуха, что позволяет отказаться от специальной вакуумной камеры и добиться сравнительно малых размеров и массы ускорителя (наружный диаметр 4,2 м, масса 22 т).

Инжектором синхротрона служит ИЛУ-5 — высокочастотный импульсный линейный ускоритель с дрейфовой трубкой и двумя ускоряющими промежутками [2]. Резонатор инжектора с собственной частотой 30 МГц состоит из 1/4-волновой линии, укороченной емкостью дрейфовой трубки, и возбуждается от автогенератора, установленного непосредственно на нем. Такой ускоритель обеспечивает режим ускорения как протонов, так и ионов практически без перестройки резонатора. На выходе инжектора энергия протонов составляет 1—1,5 МэВ, ионов 0,5—0,7 МэВ/нуклон (при $Z/A = 0,5$), длительность импульса ускоренных частиц 4—2 нс, средний ток протонов несколько миллиампер. Собственно ускоритель размещен внутри вакуумного бака диаметром 800 и высотой ~1800 мм, на котором крепятся генераторная лампа и магниторазрядные насосы.

Источник протонов — импульсный источник, описанный в работе [3]. В качестве источника многозарядных ионов разрабатывается электронно-лучевой источник, аналогичный рассмотренному в публикации [4], в котором атомы ионизируются плотным электронным лучом диаметром менее 1 мм, проходящим в продольном магнитном поле напряженностью 10 кЭ, при токе в несколько ампер и энергии 10 кэВ.

Выведенный из синхротрона пучок ускоренных частиц направляется по ионопроводам в четыре экспериментальных зала с помощью четырех поворотных 90-градусных магнитов и 19 квадратурных линз. Два импульсных магнита, отклоняющих на 6° с заданной для них частотой

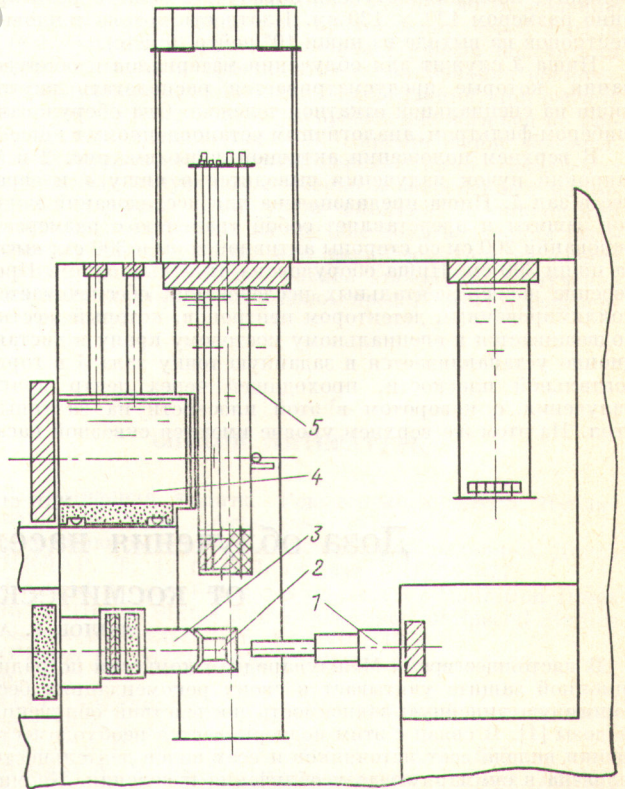
отдельные импульсы тока, направляют пучок в соответствующие вспомогательные каналы.

Для контроля прохождения и качества пучка в ускорителе и на различных участках системы транспортировки предусмотрена система диагностики пучков, включающая в себя пикап-станции, датчики тока и телевизионные люминесцентные датчики. Задание режима работы ускорителя и системы разводки пучков, измерение и контроль физических и технических параметров ускорителя, индикация состояния его систем и элементов разводки пучков и ряд других операций будут проводиться автоматизированной системой управления на базе управляющего вычислительного комплекса.

Реактор СВВ-1 — специальный водо-водяной реактор с вертикально-подвижной активной зоной и герметичным корпусом мощностью 500 кВт. Активная зона реактора представляет собой прямоугольник размером 50×50 см, с трех сторон окруженный графитовым отражателем. Максимальная плотность потока тепловых нейтронов в центре активной зоны составляет $1,4 \cdot 10^{13}$ нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$.

Перемещение активной зоны по вертикали сделало возможным выводить реакторное излучение в четыре крупногабаритные экспериментальные ниши и четыре горизонтальных канала, размещенные на двух уровнях, и проводить работы на одном из уровней одновременно с подготовкой экспериментов на другом (рис. 2).

В нижнем положении активной зоны (см. рис. 1 и 3) пучки излучения выводятся через нишу 1 в зал 4, нишу 2 в зал 5, нишу 3 в зал 3 и через горизонтальный трехступенчатый канал с диаметром последней ступени 60 см также в зал 3. Плотность потока тепловых и быстрых нейтронов на входе в нишу 1 составляет соответственно $9 \cdot 10^{12}$ и $1,3 \cdot 10^{13}$ нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$, а на входе в ниши 2, 3



Р и с. 2. Вертикальный разрез реактора СВВ-1: 1 — горизонтальный трехступенчатый канал; 2 — торец ниши; 3, 4 — ниши; 5 — подвижная ферма активной зоны

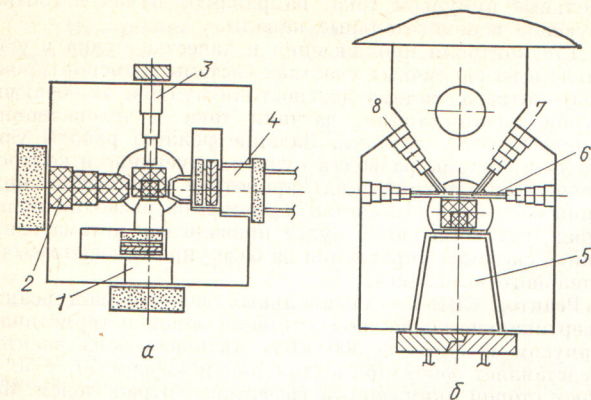


Рис. 3. Экспериментальные устройства реактора для нижнего (а) и верхнего (б) положений активной зоны: 1, 2, 4, 5 — ниши; 3 — горизонтальный трехступенчатый канал; 6 — горизонтальный касательный канал; 7 — горизонтальный канал диаметром 10 см; 8 — горизонтальный канал диаметром 15 см

и горизонтальный канал — $2,5 \cdot 10^{12}$ и 10^{10} нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ соответственно.

Ниша 1 предназначена для проведения радиобиологических исследований. Она трехступенчатая, последняя ступень образует в защите реактора окно размером 150×150 см. Мощность дозы быстрых нейтронов на расстоянии 50 см от ниши достигает 1,5 рад/с. Ниша оборудована пибером-фильтром, который позволяет снижать вклад γ -излучения в дозу до 5–10%.

Трехступенчатая ниша 2 представляет собой тепловую колонну, последняя ступень образует в защите реактора окно размером 120×120 см. Плотность потока тепловых нейтронов на выходе из ниши 10^8 нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$.

Ниша 3 служит для облучения материалов и оборудования, которые предусматривается располагать внутри ниши на специальной откатной тележке. Она оборудована пибером-фильтром, аналогичным установленному в нише 1.

В верхнем положении активной зоны (см. рис. 2 и 3) широкий пучок излучения выводится в нишу 4 и через нее в зал 5. Ниша предназначена для исследований макетов защиты и представляет собой трапецию с размерами оснований 200 см со стороны активной зоны и 300 см; высота ниши 300 см. Ниша оборудована откатным баком. Проведение экспериментальных исследований обеспечивается коллимированным детектором нейтронов, который жестко подвешивается к специальному мостовому крану и дистанционно устанавливается в заданную точку зала 5 в горизонтальной плоскости, проходящей через центр пучка излучения, с поворотом в этой плоскости на заданный угол. На этом же верхнем уровне имеются сквозной касательный канал диаметром 10 см и два экспериментальных канала диаметрами 10 и 15 см, выводящие узкие пучки излучения из отражателя реактора в зал 5.

Установки «Алмаз», размещенные в залах 4 и 6, представляют собой линейные облучатели, состоящие из 18 источников ^{137}Cs общей активностью 1080 г·экв. Ра и дистанционно выдвигаемые из защиты. Установки позволяют создать максимальную мощность дозы до 1 рад/с на расстоянии 150 см от облучателя, при этом неравномерность мощности дозы по квадрату размером 150×150 см, вырезанному в вертикальной плоскости, не более 20%.

Установки «Топаз» в зале 5 — это шурфы глубиной 12 м и диаметром 0,5 м, в которых перемещается каретка с источником ^{137}Cs или ^{60}Co активностью до 200 г·экв. Ра. Такая конструкция позволяет формировать вертикальные пучки γ -излучения с различными углами расходимости. Проведение экспериментальных исследований на установках «Топаз» обеспечивается коллимированным детектором γ -излучения, который подвешивается к настенной координатной системе. Координатная система позволяет дистанционно устанавливать детектор в заданную точку вертикальной плоскости, проходящей через ось пучков установок «Топаз», с поворотом в этой плоскости на заданный угол.

Таким образом, в зале 4 можно облучать биологические объекты одновременно γ -излучением, нейтронами, протонами или многозарядными ионами в требуемой пропорции и в заданном временном режиме. В зале 6 облучение материалов и оборудования также возможно в разных временных режимах и с различным соотношением дозы нейтронов и γ -излучения. Защита всех залов такова, что в них может проводиться подготовка к экспериментам, если пучки подаются в другие залы.

В целом создаваемая экспериментальная база позволяет проводить широкий круг работ по обеспечению радиационной безопасности космических полетов, начиная от фундаментальных исследований по радиобиологии и физике защиты до натуральных испытаний защиты космических кораблей с использованием временных режимов и спектров излучений, моделирующих условия космического полета.

В целом создаваемая экспериментальная база позволяет проводить широкий круг работ по обеспечению радиационной безопасности космических полетов, начиная от фундаментальных исследований по радиобиологии и физике защиты до натуральных испытаний защиты космических кораблей с использованием временных режимов и спектров излучений, моделирующих условия космического полета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдульманов В. Г. и др. Докл. на X Междунар. конф. по ускорителям заряженных частиц высоких энергий. Серпухов, 1977.
2. Абдульманов В. Г. и др. Препринт ИЯФ. Новосибирск, 1978.
3. Ауслендер В. Л., Лазарев В. Н., Панфилов А. Д. Препринт ИЯФ. Новосибирск, 1978.
4. Донец Е. Д., Пикин А. И. «ЖТФ», 1975, т. 45, вып. 11, с. 2373.

Поступило в Редакцию 23.03.79

УДК 614.876+612.0.14.482.5

Доза облучения населения Советского Союза от космического излучения

ФИЛОВ Р. А., КРИЮК Э. М.

В настоящее время Международная комиссия по радиационной защите учитывает в своих рекомендациях беспороговую линейную зависимость последствий облучения от дозы [1]. В связи с этим подчеркивается необходимость оценки вклада всех источников и всех видов деятельности человека в суммарную дозу облучения населения. Космическое излучение дает заметный вклад (десятки процентов) в дозу облучения населения. Мощность дозы космического излучения зависит от высоты над уровнем моря и геогра-

фической широты местности. В докладе Научного комитета ООН по действию атомной радиации (НКДАР) [2] приводится оценка годовой мощности дозы на уровне моря для средних широт (30,4 мбэр/год). В работе [3] подсчитана доза облучения населения отдельных штатов и страны в целом для США вследствие космического излучения. Нами выполнены расчеты для населения СССР.

Зависимость мощности дозы от высоты над уровнем моря и географической широты взята из работы [4], резуль-