

541/87

Барашенков В.С. и др.

С34251 + С3471

+

Б1-11-86-768



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Б1-11-86-768

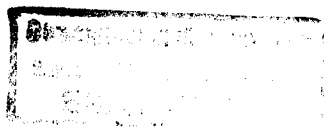
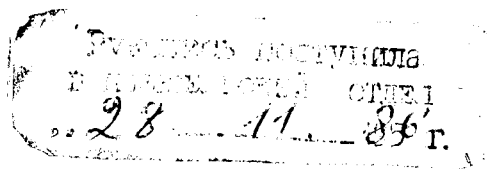
ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 1986

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
Лаборатория вычислительной техники и автоматизации

Б1-11-86-768

В.С.Барашенков, Ле Ван Нгок, С.Ю.Шмаков  
МОНТЕ-КАРЛОВСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО  
АДРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ



Дубна, 1986.

## ВВЕДЕНИЕ

Для решения широкого круга научных и прикладных проблем, связанных с интерпретацией некоторых астро-физических вопросов, анализом структуры широких атмосферных ливней, защитой космических аппаратов и биологических объектов при высотных полетах, оценкой доз радиоактивного излучения, распространяющегося в воздухе вокруг ускорителей, оценками эффективности запускаемых на большие высоты детекторов излучений, изучением образующихся в атмосфере изотопов и т.д., важны расчеты распространения космических излучений и пучков быстрых частиц в атмосфере.

В последнее время эти расчеты становятся необходимыми в связи с новыми экспериментами по регистрации атмосферных мюонов и нейтрино, с необходимостью правильной интерпретацией экспериментальных данных, касающихся выяснения многих вопросов физики солнца и околосолнечного пространства, в том числе механизма ускорения частиц во вспышках, свойств солнечного ветра, структуры гелиома-гнитосферы и т.д.

Распространение космических лучей (или высокоэнергетических излучений искусственного происхождения) в атмосфере является многогранным явлением. Математически оно описывается настолько сложной системой кинетических уравнений, что ее решение обычными численными методами расчетов крайне затруднительно, в особенности если необходимо учитывать сложную геометрию и многокомпонентный состав блоков вещества, находящихся в атмосфере.

Решение задач прохождения высокоэнергетического излучения в атмосфере с помощью обычных численных методов возможно только в простых случаях, где допускаются упрощающие предположения как математического, так и физического характера. В этих условиях наиболее эффективным и адекватным способом расчета является применение метода Монте-Карло на всех стадиях расчета – как при расчете распространения потока частиц в атмосфере, так и при задании исходной информации путем расчета внутриядерных каскадов. Монте-карловский расчет переноса высокоэнергетического излучения в атмосфере включает в себя численное:

- моделирование источника частиц,
- моделирование пробега частиц от одного ядерного взаимодействия до другого с учетом либо потери энергии заряженной частицы на ионизацию атомов среды либо распада нестабильной частицы (как, например,  $\pi$ -мезонов),
- моделирование взаимодействия частицы с встречающимся на ее пути атомным ядром, сопровождающегося в случае неупругого столкновения рождением вторичных частиц.

Расчет ядерных взаимодействий при энергиях  $> 10.5$  МэВ - наиболее сложная и трудоемкая часть задачи. Она оформлена в виде двух моделей - отдельно расчет внутриядерного каскада и расчет распада остаточных ядер<sup>/1/</sup>. В области  $E \leq 10.5$  МэВ каскадная лавина состоит только из нейтронов. Здесь важны лишь несколько каналов реакции, которые моделируются заданием вероятностей на основе многогрупповой системы констант для расчета ядерных реакторов<sup>/7/</sup>.

Нами разработан комплекс программ моделирования переноса высокоэнергетического излучения через атмосферу на основе метода Монте-Карло, который позволяет восстановить с помощью ЭВМ детальную физическую картину реальных процессов, протекающих в атмосфере под действием частиц больших энергий.

Данный комплекс программ написан на языке FORTRAN и реализован на ЭВМ СДС-6500 и легко адаптируется к ЭВМ разного рода.

#### Общая структура программного комплекса

Для моделирования переноса высокоэнергетического излучения в атмосфере используется двухкомпонентная модель атмосферы<sup>/4,8/</sup>.

В комплекс программ включены следующие автономные модули:

- розыгрыш источника (определение координат, направления движения и кинетической энергии первичной частицы, падающей на границу атмосферы),

- расчет длины свободного пробега частицы,

- расчет вклада в оценку,

- определение типа взаимодействия,

- расчет в случае упругого взаимодействия

направления и кинетической энергии частицы после рассеяния и запись в случае неупругого взаимодействия числа и характеристик образованных вторичных частиц в память ЭВМ в виде массива.

Программа строит дерево траекторий, возникающее при реализации цепи с расщеплением с помощью использования лексикографического обхода. Схема его такова: движение по какой-нибудь одной ветви, при этом производится обработка траектории и фиксируются ответвления. При достижении конца ветви следует возвращение на одно звено цепи назад и прослеживается следующее из записанных ответвлений. Счет заканчивается, когда достигается основание дерева.

В комплексе программ учитывается то обстоятельство, что если заряженная частица замедляется до низких энергий, вероятность ее ядерных взаимодействий становится пренебрежимо малой. Такая частица либо останавливается и теряется в атмосфере (протон при  $E_p \leq 15$  МэВ), либо распадается ( $\pi^\pm$ -мезоны при  $E_{\pi^\pm} \leq 2.5$  МэВ). Нейтроны малых энергий, наоборот, испытывают большое число ядерных столкновений, и их приходится прослеживать до очень низких энергий.

Область изменения кинетических энергий частиц разного рода таковы: протоны -  $T_p$  (15 МэВ -  $T_{MAX}$ )  
 $\pi$ -мезоны -  $T_p$  (2.5 МэВ -  $T_{MAX}$ )  
 нейтроны -  $T_n$  (0.003 эВ -  $T_{MAX}$ ),

где  $T_{MAX} \simeq$  несколько десятков ГэВ.

При первичных энергиях  $T_p > 5$  ГэВ в расчетах используются программы<sup>2/</sup> учитывающие эффект "лидерования" в адрон-адронных столкновениях<sup>1)</sup>.

Для сокращения времени счета числовых характеристик различных ядерно-физических процессов в атмосфере целесообразно разделить атмосферу на плоские слои с толщиной  $\Delta h \simeq 100$  кг/м<sup>2</sup>. (толщина всей атмосферы 10330 кг/м<sup>2</sup>) и в каждом слое применять оценку про пробегу и пересечениям<sup>6/</sup>.

Организация выдачи зависит от конкретной задачи, причем можно либо записывать необходимые характеристики на внешний носитель (например, на магнитную ленту), которые в дальнейшем используются в качестве исходной информации для анализа и обработки результатов, либо строить интересующие функции распределения в процессе расчета.

<sup>1)</sup> Мы благодарны Б.Ф.Костенко за предоставление программ моделирования адрон-адронных взаимодействий, учитывающих этот эффект.

Разработанный комплекс программ состоит из основной программы и управляющих подпрограмм. Схематически можно изобразить его общую структуру в виде рис.1, на котором представлены главная программа и основные подпрограммы. Подробное описание и инструкция по их использованию даны в работах<sup>/1/</sup>. В настоящей работе представлен полный текст комплекса программ.

Распространение ядер отдачи и тяжелых заряженных частиц (дейтрон, тритон,  $\text{He}^3$  и  $\alpha$ ), возникающих в неупругом взаимодействии и на испарительной стадии ядерной реакции в атмосфере, можно не рассматривать из-за высоких ионизационных потерь. Однако учет этой компоненты важен при моделировании радиационной ситуации или биологического действия космических излучений (или излучений искусственных источников) на больших высотах в атмосфере.

Наш комплекс программ дает возможность оценивать и этот эффект на основе модификации некоторых блоков расчета<sup>/6/</sup>.

#### Практическая работа с комплексом программ

Для решения какой-либо конкретной задачи с помощью настоящего комплекса программ необходимо задавать исходную информацию, а также организация выдачи результатов расчетов на магнитную ленту осуществляется с помощью специальных подпрограмм. Их детальное описание дано в работе<sup>/4/</sup>.

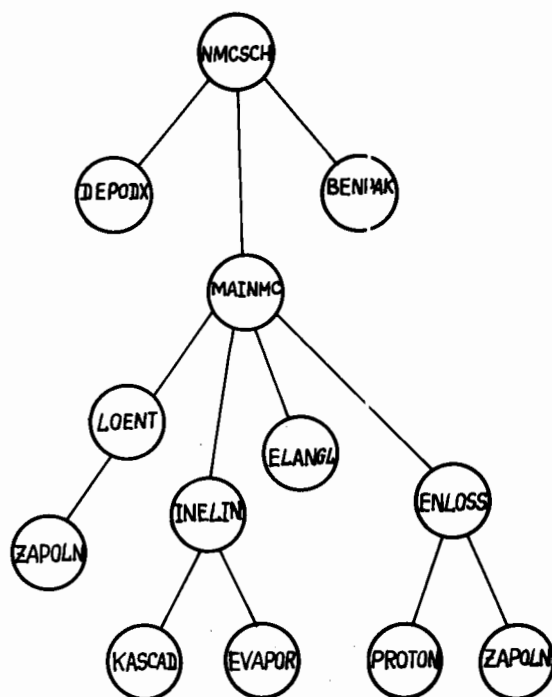


Рис.1. Общая структура программного комплекса.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Барашенков В.С., Тонеев В.Д. Взаимодействия высокоэнергетических частиц и атомных ядер с ядрами. М., Атомиздат, 1972.
2. Барашенков В.С., Костенко Б.Ф. Множественное образование частиц в адрон-ядерных столкновениях при очень высоких энергиях. ОИЯИ, Р2-11648, Дубна, 1978.
3. Барашенков В.С., Шмаков С.Ю. Моделирование на ЭВМ процессов взаимодействия высокоэнергетических частиц и ядер с веществом. В кн. Мате "Моделирование в ядерных исследованиях Труды международного совещания, ОИЯИ, Д 10, 11-81-662, Дубна, 1981
4. Ле Ван Нгюк, Шмаков С.Ю. Программа расчета нуклон-мезонного каскада в атмосфере Земли методом Монте-Карло. ОИЯИ, Б1-2-85-47, Дубна, 1985.
5. Барашенков В.С., Ле Ван Нгюк, Шмаков С.Ю. Биологические эффекты космического излучения. ОИЯИ, Р2-85-46, Дубна, 1985.
6. Ле Ван Нгюк. Монте-карловский расчет вклада ядер отдачи и тяжелых продуктов ядерных реакций в атмосфере в радиационные дозы на разных высотах. ОИЯИ, Б3-11-85-743, Дубна, 1985.
7. Абагян Л.П. и др. Групповые константы для расчета реакторов и защиты. Энергоатомиздат, М. 1981