

30295/19

РМ-196

Радиевый институт им. В. Г. Хлопина

А. В. Даниэль, В. Н. Душин

ПРОГРАММА СИТНА - МОДЕЛИРОВАНИЕ
ПЕРЕНОСА АДРОНОВ
В ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИЙ $10^0 - 10^{10}$ эВ.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА НЕЙТРОНОВ
С $E < 20 \cdot 10^6$ эВ

Препринт

УДК

Программа SIXHA - моделирование переноса адронов в диапазоне энергии 10^0-10^{10} эВ. Моделирование переноса нейтронов с $E < 20 \cdot 10^6$ эВ: Препринт РИ-196/А. В. Даниэль, В. Н. Душин. - М., 1987. - 13 с.

Списаны методы моделирования переноса нейтронов с $E < 20$ МэВ, использованные в программе SIXHA (Simulation Transport Hadron), используемая при моделировании оригинальной библиотека группных микроконстант (175 групп) с подгрупповым описанием области резонансов и комплекс программ для ее подготовки. Обсуждаются результаты расчета ряда интегральных экспериментов.

SIXHA program - the simulation of hadron transport in the energy range of 10^0-10^{10} eV. Neutron transport simulation with $E < 20 \cdot 10^6$ eV: Preprint РИ-196/А. V. Daniel, V. N. Dushin. - М., 1987. - 13 p.

The methods for simulation of neutron transport with $E < 20$ MeV used in the SIXHA (simulation transport hadron) program, the original library of group microconstants (175 groups) with subgroup description of resonance range and a set of programs for its creation are described. The results of a number of integral experiments are discussed.



Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по атомной энергии и технике (ИИЭТЭИ), 1987

1. Введение

Для проведения расчетов спектров плотности потока нейтронов в различных ядерно-технических установках в широком диапазоне энергий (10^0 - 10^{10} эВ) в Радиовом институте им. В. Г. Хлопина создана программа SITHA (Simulation Transport Hadron). Расчет спектров выполняется с помощью моделирования переноса адронов методом статистических испытаний. Данный метод позволяет моделировать перенос адронов в областях, имеющих сложную пространственную конфигурацию и многокомпонентный состав.

Моделирование переноса адронов во всем рассматриваемом диапазоне энергий выполняется в два этапа. На первом этапе моделируется перенос четырех типов адронов: протонов, нейтронов и заряженных π -мезонов - с энергией выше пороговой E_{Π} (10-20 МэВ). Методы моделирования на данном этапе описаны в работах /1, 2/. В процессе моделирования вычисляются спектры плотности потоков нейтронов с энергией выше E_{Π} в заданных пространственных областях и формируется файл источников нейтронов с энергией ниже E_{Π} . Файл источников может формироваться двумя способами. При первом способе в файл записываются координаты нейтронов с энергией ниже E_{Π} , образовавшихся в процессе развития каскада адронов с энергией выше E_{Π} . При втором способе для заданных пространственных областей рассчитываются средние энергетические спектры источников ней-

тронов. Расчет может выполняться как чисто статистически, так и путем численного интегрирования энергетических спектров нейтронов деления и испарения в каждом акте взаимодействия. Использование численного интегрирования позволяет существенно уменьшить дисперсию энергетических спектров источников нейтронов. На втором этапе моделируется перенос нейтронов с энергией ниже E_D (при описанных выше источниках нейтронов).

В программе используется сложный геометрический блок, реализующий предложения работы /3/. Структура геометрического блока позволяет легко увеличивать число рассматриваемых типов поверхностей. В настоящий момент в нем описаны 7 типов поверхностей.

Программа SIGNA написана на языке Фортран-IV и эксплуатируется на машинах серии ЕС (ЕС-1052, ЕС-1060). Объем программы немногим более 10000 строк. Для уменьшения объема занимаемой оперативной памяти использована оверлейная структура. В программе реализована системно независимая возможность прерывания и возобновления счета после любого заданного числа историй.

2. Библиотека групповых микроконстант

Для моделирования переноса нейтронов с энергией ниже E_D создана библиотека микроконстант. Библиотека формируется комплексом программ на основе библиотек оцененных нейтронных данных формата ENDF/V. Комплекс позволяет готовить библиотеки с числом групп не более 175 и произвольным выбором границ групп (максимальная энергия 20 МэВ). Для описания сечений в области резонансов допускается использование метода подгрупп, реализовано 2 подгруппы. Страничения (175 групп и 2 подгруппы) обусловлены только используемой адаптированной программой GROUPIB. Структура библиотеки не имеет этих ограничений и позволяет единым образом хранить информацию об элементе как с подгрупповым описанием области резонансов, так и без него.

Ограниченные ресурсы современных ЭВМ, а также непосредственное использование микроконстант в процессе моделирова-

ния сделали актуальной задачу эффективного "уплотнения" хранимой информации. "Уплотнение" достигается специальной формой представления констант, которая позволяет исключить хранение всех нулевых сечений. Для набора из N сечений, сумма значений которых равна полному сечению, значение последнего не включается в библиотеку (информация о его существовании сохраняется). В библиотеке содержится описание практически всех значимых для расчета переноса нейтронов реакций.

Для одного элемента в библиотеку могут быть введены следующие данные:

полные сечения реакций захвата, упругого рассеяния, деления, неупругого рассеяния на дискретных уровнях (допускается задание до 40 уровней), неупругого рассеяния на перекрывающихся уровнях, $(n, 2n)$ -, $(n, 3n)$ -реакций (первые четыре типа сечений могут иметь подгрупповое описание);

данные для описания угловых распределений нейтронов при упругом рассеянии;

средние для каждой группы множественности нейтронов деления;

параметры для описания энергетических распределений нейтронов в реакциях деления, неупругого рассеяния на перекрывающихся уровнях, $(n, 2n)$ -, $(n, 3n)$ -реакций, определяемые в каждой группе.

Схема подготовки констант представлена на рис. 1. Адаптированная программа GROUP1E обрабатывает файлы сечений в формате ENDF/B с линейным законом интерполяции, результаты работы программы записываются в два файла: файл групповых сечений в формате ENDF/B и файл подгрупповых сечений.

Данные, необходимые для моделирования отдельных типов реакций, готовятся программой ENSPES. Параметры для описания угловых распределений нейтронов в реакциях упругого рассеяния, на данном этапе, рассчитываются во всех группах. Угловое распределение в группе описывается таблицей значений вероятностей рассеяния в заданные угловые интервалы. Энергетические спектры нейтронов в реакциях деления, неупругого рассеяния на перекрывающихся уровнях, в $(n, 2n)$ -, $(n, 3n)$ -реакциях описываются спектром деления для первой реакции и

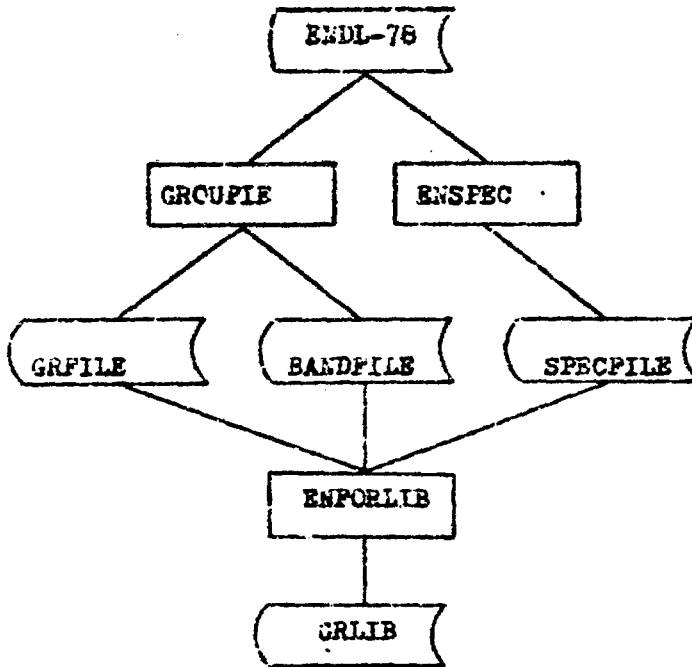


Рис. 1. Схема подготовки групповых микроконстант

спектром испарения, обрезанным с двух сторон, для остальных. Температуры, характеризующие спектры, определяются для каждой реакции в каждой группе с помощью подгонки поточечно задаваемых спектральных распределений. Результатами работы программы ENSPEC записываются в файл, в котором каждой обработанной секции в библиотеке оцененных нейтронных данных соответствует группа из двух или трех последовательных записей.

Непосредственно библиотеку сечений формирует программа ENFORLIB. Для удобства, описание которого должно быть включено в библиотеку, программа ищет все необходимую информацию о нем в трех описанных выше файлах и вводит всю информацию в оперативную память ЭМ. На этом этапе информация еще не "уплотнена". Для каждого типа сечений и параметров, служащих для моделирования реакций, создается память в отдельных словах, равная числу групп. Для сечений, допускающих под-

групповое описание, объем выделяемой папки увеличен пропорционально числу возможных подгрупп. Программа проверяет полноту данных о нуклиде; при нехватке каких-либо данных программа сообщает об этом и останавливается или переходит к обработке следующего нуклида, если это задано. Для увеличения скорости моделирования переноса нейтронов осуществляется переход от сечений реакций к вероятностям, а также изменение параметров для описания угловых распределений в реакциях упругого рассеяния. Вместо таблицы значений вероятностей рассеяния в заданные угловые интервалы вычисляется таблица значений косинусов углов C_1 , таких, что вероятности рассеяния в любой из интервалов $(C_1 - C_{1-1})$ равны между собой. Данные вычисления выполняются только в тех группах, где рассеяние изотропно.

В дальнейшем вероятности реакций и параметры, необходимые для моделирования отдельных типов реакций, "упаковываются" в одномерный массив. При "упаковке" происходит эффективное "сжатие" данных. "Сжатие" достигается выделением для каждой группы одного дополнительного машинного слова (32 бита), в котором содержится вся служебная информация о группе. Служебная информация включает сведения: наличие в группе подгруппового описания сечений; о каждой реакции - нулевая или не нулевая вероятность реакции в данной группе и является ли описание реакции последним в группе; об упругом рассеянии - изотропное или неизотропное.

Результатом работы программы является файл с групповыми микроконстантами для заданных нуклидов, который может использоваться самостоятельно или может быть включен в библиотеку. Информация о каждом нуклиде, включенном в файл, содержится в двух последовательных записях. Первая запись имеет всегда фиксированную длину. В ней содержится Zа нуклида ($Zа = 1000 \cdot Z + A$), номер, присвоенный данному варианту описания нуклида, отношение массы нуклида к массе нейтрона, число подгрупп, число значений косинусов углов C_1 для описания угловых распределений нейтронов в реакции упругого рассеяния, число дискретных уровней энергии и размер второй записи в машинных словах. Вторая запись содержит одномерный массив со "сжатой" информацией, описанной выше.

Следует отметить, что в комплекс включены еще две группы программ, помимо рассмотренных. Во-первых, программы, обеспечивающие работу с созданной библиотекой: копирование, удаление описаний нуклидов из библиотеки; вывод различной информации с нуклида на печать. Во-вторых, программы сопровождения библиотек формата ENDF/V.

В настоящее время используется версия библиотеки - I75 групп, 2 подгруппы, подготовленная на основе данных ENDF-7B. Объем данных в машинных словах для некоторых из нуклидов, включенных в библиотеку, представлен в табл. I. Полное время подготовки данных для одного нуклида на ЭВМ ЕС-1052 составляет менее 3 мин.

Т а б л и ц а I
Объем данных в машинных словах для нуклидов

Нуклид	Число слов
^{235}U	2859
^{238}U	3367
^{239}Pu	3663
^{240}Pu	3169
^{241}Pu	2634

3. Моделирование переноса нейтронов

Используемая форма представления групповых микроконстант позволяет все необходимые данные для моделирования переноса нейтронов методом статистических испытаний вводить в оперативную память ЭВМ одновременно. Данные для всех нуклидов располагаются в одномерном массиве, размещенном в основной-области, при этом скорость моделирования практически не изменяется. Такое расположение данных имеет очевидное преимущество, поскольку появляется возможность эффективно регулировать требуемую оперативную память, в зависимости от числа нуклидов, входящих в состав моделируемой установки.

Методы разгруппировки длины свободного пробега, моделирование отдельных типов реакций, формулы для пересчета углов, нелокальные оценки потока, используемые в программе SITNA, в целом соответствуют /4/. Более подробно следует остановиться на использовании подгрупповых данных. В процессе моделирования по текущим номерам энергетической группы и материальной зоне вычисляются полные макроскопические сечения для нуклидов, входящих в зону. В ходе вычислений для каждого нуклида определяется, имеет ли он в текущей группе подгрупповое описание; если такое описание есть, то предварительно разгруппируется номер подгруппы, который запоминается, а в противном случае формально считается, что реализовалась первая подгруппа. По рассчитанным макроскопическим сечениям вычисляется оптическая длина свободного пробега в зоне, и если взаимодействие произошло в ней, то по этим же данным разгруппируется номер нуклида, с которым произошло столкновение. Затем по индивидуальным константам нуклида, с учетом номера подгруппы, моделируется тип реакции, реализовавшейся в акте взаимодействия, и характеристики вторичного нейтрона.

4. Тестирование систем констант и программ расчета

Модули для расчета переноса нейтронов с энергией ниже E_D проверялись в составе всей программы SITNA. Для сравнения с рядом критических экспериментов был создан дополнительный блок задания источников нейтронов, отличный от описанного во введении, позволяющий задавать источники нейтронов во входных данных. Источники нейтронов могут быть заданы в отдельных точках пространства или распределены по нескольким зонам. Энергетические спектры источников нейтронов могут задаваться спектрами деления, испарения и численно.

На рис. 2 представлены экспериментальный и рассчитанный спектры утечки нейтронов из свинцового шара диаметром 40 см, в центре которого помещен источник ^{252}Cf . Экспериментальные данные соответствуют /5/. На этом же рисунке приведен спектр источника. Спектры умножены на 4г^{-2} и даны в абсолютных единицах. Выход ^{252}Cf приведен к значению $1 \cdot 10^9$ нейтр./с. Расчетные и экспериментальные данные хорошо согласуются между собой.

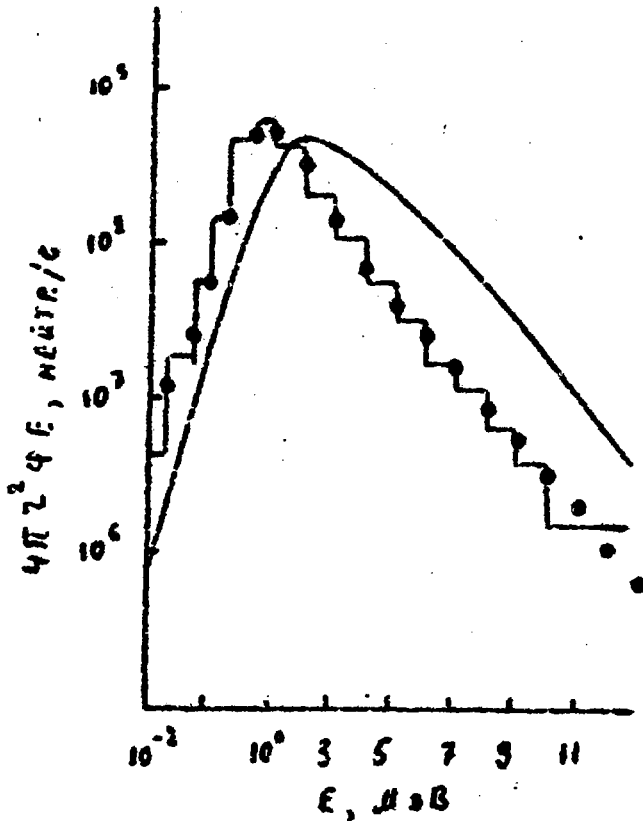


Рис. 2. Спектр нейтронов, вылетающих из свинцового кара радиусом 20 см, в центре которого находится источник ^{252}Cf ;

• - экспериментальные данные; Л - результаты расчета;
— - спектр источника

Ряд расчетов был проведен для двух сферических критических сборок: урановой Godiva и плутониевой Jezebel. Данные по составу и радиусам критических сборок были взяты из /6/ и приведены в табл. 2, там же содержится результаты расчета эффективных коэффициентов размножения. Лучшее согласие с экспериментом наблюдается для плутониевой сборки. Для урановой сборки рассчитанный эффективный коэффициент размноже-

Т а б л и ц а 2
Данные сферических критических сборок
Godiva и Jezebel

Godiva		Jezebel	
Ядерные концентрации			
^{234}U	$2,498 \cdot 10^{21}$	^{70}Ca	$1,375 \cdot 10^{21}$
^{235}U	$4,50 \cdot 10^{22}$	^{239}Pu	$3,705 \cdot 10^{22}$
^{238}U	$4,92 \cdot 10^{20}$	^{240}Pu	$1,751 \cdot 10^{21}$
		^{241}Pu	$1,17 \cdot 10^{20}$
Радиус зон, см			
8,741		6,365	
Эффективные коэффициенты размножения			
k_z	$1,00 \pm 0,003$	k_z	$1,00 \pm 0,003$
k_p	$1,015 \pm 0,008$	k_p	$1,003 \pm 0,006$

ния несколько завышен, хотя и согласуется с экспериментальным значением в пределах статистических ошибок. На рис. 3, 4 представлены экспериментальные и рассчитанные спектры утечки нейтронов из сборок Godiva и Jezebel соответственно. Экспериментальные спектры соответствуют спектрам из работы /7/. Спектры нормированы на единицу в диапазоне энергий 0,2-0,9 МэВ. Для обеих сборок наблюдается хорошее согласие экспериментальных данных с результатами расчетов.

5. Заключение

Настоящая редакция программы SITHA позволяет:
 в области энергий от единиц ГэВ до ∞ моделировать перенос протонов, нейтронов и заряженных π -мезонов;
 в области энергий от ∞ до тепловых энергий моделировать перенос нейтронов.

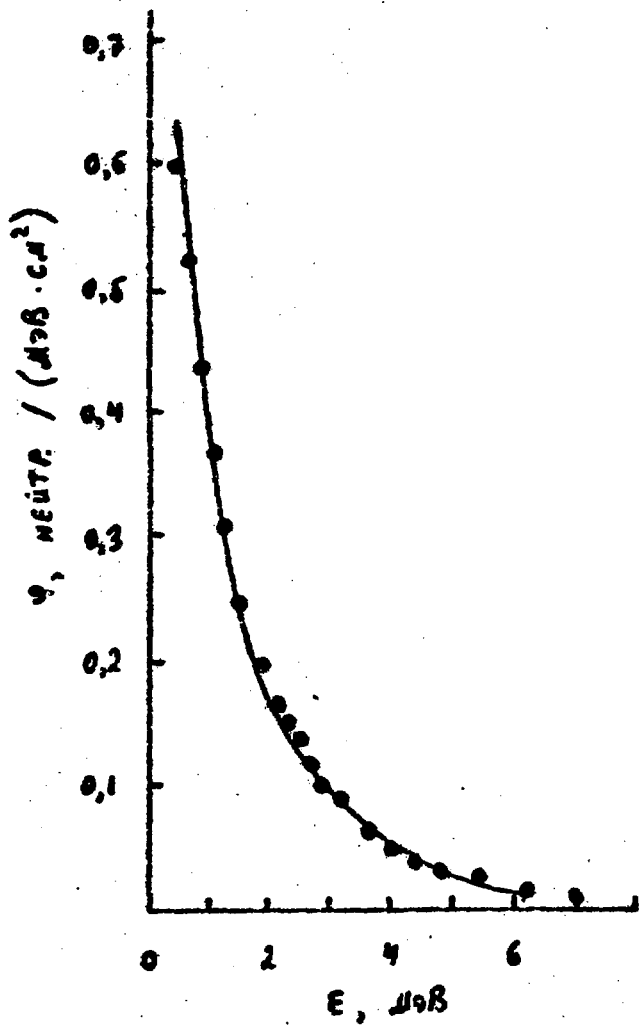


Рис. 3. Спектр нейтронов, вылетающих из сборки Godiva:
— — экспериментальные данные; • — результаты расчета

Создан удобный способ представления групповых микроконстант, допускающий компактное, единообразное представление данных как без подгруппового описания, так и с произвольным числом подгрупп.

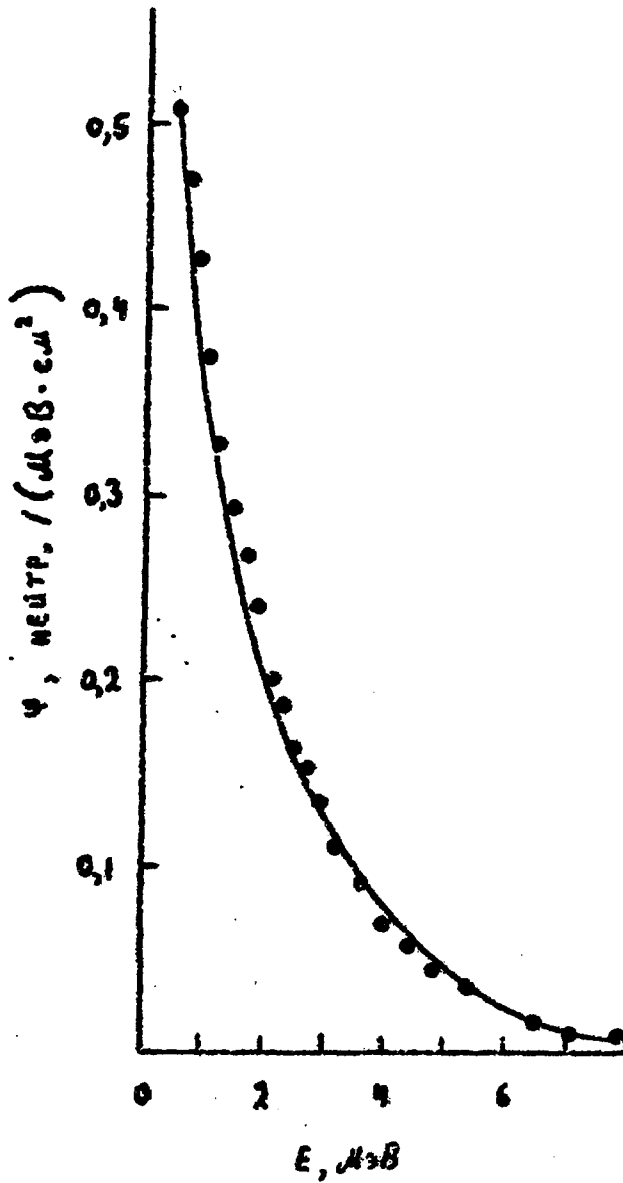


Рис. 4. Спектр нейтронов, вылетающих из сборки Jezebel:
— - экспериментальные данные; ● - результаты расчета

При моделировании методом статистических испытаний осуществляется непрерывное слежение за изменением энергии нейтрона, учитывается анизотропия упругого рассеяния; моделирование отдельных актов взаимодействия осуществляется на основе индивидуальной информации о нуклиде.

Следует отметить, что при описанном подходе вопросы о достоверности и надежности ядерных констант, в частности в области неразрешенных резонансов, полностью определяются библиотеками оцененных нейтронных данных. Это есть некая плата за возможность оперативной подготовки ядерных констант.

Дальнейшее развитие системы констант связано с созданием версии библиотеки на основе библиотек оцененных нейтронных данных ENDF/B-IV и V.

Список литературы

1. Даниэль А. В. Моделирование переноса частиц высокой энергии. - Материалы конференции молодых ученых и специалистов Радиевого института им. Б. Г. Хлопина, Ленинград, 6-8 апреля 1983 г. М.: ЦИИАтоминформ, 1984, с. 102-107.
2. Даниэль А. В. Моделирование переноса адронов высоких энергий: Препринт РИ-181. - М.: ЦИИАтоминформ, 1984.
3. Курспащенко Э. С., Сгибин Б. Н. Об одной схеме моделирования траекторий частиц в системах сложной геометрии. - Журн. вычислит. математики и мат. физики, 1968, т. 8, с. 212-216.
4. Франк-Каменецкий А. Д. Моделирование траекторий нейтронов при расчете реакторов методом Монте-Карло. - М.: Атомиздат, 1978.
5. Горячев И. Г., Колесатов Ю. Н., Семенов В. П., Трыков Л. А. Интегральные эксперименты в проблеме переноса конизирующих излучений: Справ. руководство. - М.: Энергоатомиздат, 1985.
6. Наумов В. А., Розин С. Г. Решение задач физики реакторов методом Монте-Карло. - Минск: Наука и техника, 1978.

7. Stewart L. Leakage neutron spectrum from a bare ^{239}Pu critical assembly. - Nucl. Sci. Eng., 1960, vol. 8, p. 595-597.

Редактор Н. Н. Колосов

Подписано в печать 31.08.57. Т-17069 формат 60 x 90 1/16
Офсет. печ. Печ. л. 0,75 Уч.-изд. л. 0,64 Тираж 115 экз.
Зак. № 298 Цена 10 коп. Издана 30.08

Отпечатано в Радиовосстановительном институте им. А. П. Яковлева
197022, Ленинград, ул. Рабочая, д. 1

10 коп.

Копия 3624

Препратт РН-196, М., 1967, 1-13