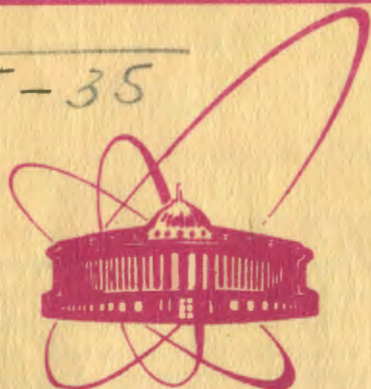


T-35



e
t

объединенный
институт
ядерных
исследований
дубна

2301/2-81

11/5-81

P13-81-18

Г.М.Тер-Акопьян, А.Г.Попеко, Е.А.Сокол,
Л.П.Челноков, В.И.Смирнов, В.А.Горшков

НЕЙТРОННЫЙ ДЕТЕКТОР
ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ РЕДКИХ СОБЫТИЙ
СПОНТАННОГО ДЕЛЕНИЯ

Направлено в "Nuclear Instruments and Methods"

1981

ВВЕДЕНИЕ

Методы регистрации редких событий спонтанного деления применяются при решении ряда задач, таких как синтез новых тяжелых и сверхтяжелых элементов ^{1/}, изучение характеристик спонтанного деления ядер с $Z \geq 100$ ^{4,5/}, поиск в природе сверхтяжелых элементов ^{2,3/}, контроль загрязненности окружающей среды и материалов искусственно созданными спонтанно делящимися элементами.

Редкие события спонтанного деления регистрировались с наибольшей чувствительностью по актам множественного испускания нейтронов при помощи сцинтилляционных детекторов и детекторов с газовыми счетчиками. Сцинтилляционные детекторы нейтронов ^{5-9/} создавались на основе жидких сцинтилляторов, содержавших соли гадолиния или кадмия. Такие детекторы обладают высокой эффективностью регистрации одиночных нейтронов $\epsilon_n = 0,45-0,85/$, но из-за высокой чувствительности к γ -излучению они имеют большой собственный фон даже при работе в хорошо защищенных помещениях ^{8/} и при использовании в качестве стартового сигнала от детекторов осколков деления ^{5/}. Детекторы с газовыми счетчиками, наполненными BF_3 ^{10-12/} или ^3He ^{13-20/}, по сравнению со сцинтилляционными детекторами имеют более низкую эффективность регистрации одиночных нейтронов $\epsilon_n = 0,20-0,60/$. Вместе с тем они имеют и более низкий собственный фон.

В нашей лаборатории в течение ряда лет разрабатывались и использовались для поисков в природе сверхтяжелых элементов детекторы нейтронов с ^3He -счетчиками. Накопленный за это время опыт был использован при создании детектора, который описывается в настоящей работе.

ДЕТЕКТОР НЕЙТРОНОВ

Детектор представляет собой блок из органического стекла /рис.1/ диаметром 550 и высотой 700 мм, в центре которого имелся сквозной канал диаметром 160 мм для исследуемого образца. Вокруг этого канала размещалось 56 счетчиков - 4 ряда по 14 счетчиков. Их центры находились на окружностях, диаметры которых составляли 244, 318, 382 и 418. Счетчики имели длину 500 и диаметр 32 мм и были заполнены ^3He /до давления 7 атм/ с добавлением 1% CO_2 . Каждый счетчик вместе с предуси-

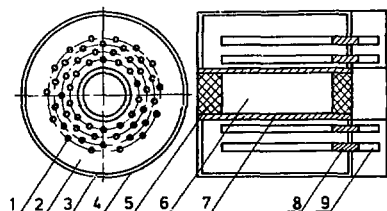


Рис.1. Схема детектора нейтронов: 1 - ^3He -счетчики; 2,7,8 - оргстекло; 3 - кадмий; 4 - стальной корпус; 5 - пробки из оргстекла; 6 - полость для образца; 9 - предусилитель и высоковольтная схема.

лителем и высоковольтной схемой составлял отдельный модуль. Высокое напряжение /1600 В/ подавалось на все счетчики от одного источника питания. Для уменьшения вероятности пробоев проходные изоляторы счетчиков были снабжены охранными кольцами, для исключения взаимного влияния друг на друга напряжение на каждый счетчик подавалось через RC-фильтр.

Принцип работы детектора заключался в следующем. Нейтроны, испущенные из образца, находившегося в центральной полости детектора, замедлялись за короткое время до тепловых энергий в оргстекле и затем в течение нескольких десятков мкс диффундировали в замедлителе и либо поглощались ^3He -счетчиками и оргстеклом, либо уходили из детектора. Известно /см., например, /4//, что при делении ядер происходит эмиссия нескольких нейтронов. Числа испущенных нейтронов имеют распределение, близкое к нормальному, причем средняя величина этого распределения $\bar{\nu}$ варьируется для разных ядер при спонтанном делении от 2 до 4. Если детектор нейтронов обладает достаточно большой эффективностью регистрации одиночных нейтронов ϵ_n , то для значительной доли событий спонтанного деления он должен регистрировать 2 или более нейтронов за промежуток времени в несколько десятков мкс, непосредственно следующий за актом деления. Наблюдение многократных совпадений импульсов от нейтронов может рассматриваться как регистрация событий деления.

В описываемой установке отбор событий деления осуществлялся электронной системой, блок-схема которой изображена на рис.2. Эта система позволяла определять кратность, т.е. число зарегистрированных нейтронов, номера сработавших счетчиков, амплитуды сигналов от нейтронов, астрономическое время регистрации события деления и время регистрации нейтронов относительно стартового сигнала. Стартовым мог быть сигнал от первого сработавшего ^3He -счетчика или сигнал от детектора осколков деления.

Принцип работы электронной схемы следующий. Усиленные предусилителями /ПУ/ сигналы от счетчиков поступали на 56 независимых усилителей - формирователей /УСФ/. Применение отдельного

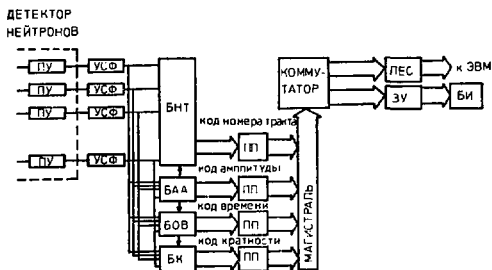


Рис.2. Блок-схема электронной системы детектора нейтронов: БНТ – блок номера тракта; БАА – блок анализа амплитуды; БК – блок кратности; БОВ – блок отсчета времени; ПУ – предусилитель; УСФ – усилитель-формирователь; ПП – промежуточная память; БИ – блок индикации; ЗУ – запоминающее устройство; ЛЕС – логика единого сопряжения.

усилительного тракта для каждого счетчика позволило получить малое разрешающее время, которое для описанной схемы составляло 0,1 мкс. При регистрации двух нейтронов одним счетчиком разрешающее время составляло 2 мкс. После усиления и формирования по длительности сигналы поступали на схемы кодирования номера сработавшего тракта/БНТ/, амплитуды/БАА/, кратности/БК/, времени регистрации нейтронов относительно стартового сигнала/БОВ/. Кодирование проводилось только для сигналов, которые удовлетворяли условиям отбора по амплитуде. Запуск блока отсчета времени осуществлялся сигналом с первого сработавшего счетчика нейтронов или с детектора осколков деления. Интервал времени, в течение которого разрешалась регистрация нейтронов, был выбран равным 256 мкс. Первая половина этого интервала служила для регистрации нейтронов деления, вторая использовалась для определения фона. По окончании времени регистрации коды, выработанные отдельными блоками, считывались по внутренней общей шине из промежуточной памяти /ПП/, объединялись в одно слово длиной 22 байта и передавались в запоминающее устройство /ЗУ/²² или через схему сопряжения ЛЕС/²³ на ЭВМ. Содержимое памяти ЗУ могло считываться с помощью блока индикации /БИ/. При передаче кодов принимались меры по повышению помехо-

защищенности: каждый байт дополнялся до нечетного числа единиц, код номера тракта состоял из 8 двоичных разрядов и содержал точно 3 единицы. Для проверок и настройки аппаратуры имелся ряд специальных режимов работы. Во время измерений электронная схема детектора могла блокироваться сигналами схемы защиты от электрических помех и сигналами системы защиты от космических лучей. Имелась возможность вместо блокировки этими сигналами снабжать информацию специальной отметкой о наличии помех или срабатывания системы защиты от космических лучей.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Калибровки детектора осуществлялись источником ^{252}Cf , помещенным между двумя полупроводниковыми детекторами осколков деления в герметически закрытой камере. Было зарегистрировано 15750 событий деления. Распределение по кратностям зарегистрированных нейтронов приведено в первом столбце табл. 1.Эт: данные непосредственно использовались для определения эффективности регистрации нейтронов. Полученное среднее число зарегистрированных нейтронов на одно событие $\bar{N} = 1,80 \pm 0,01$ соответствовало эффективности регистрации одиночных нейтронов $\epsilon_n = 0,483 \pm 0,005$, если принять для ^{252}Cf среднее число мгновенных нейтронов $\bar{\nu} = 3,735 \pm 0,014^{1/4}$. Указанная эффективность была определена для источника, расположенного в центре детектора. При перемещении источника вдоль оси детектора эффективность регистрации нейтронов изменялась так, как показано на рис. 3.

Таблица 1

Распределения по кратностям зарегистрированных нейтронов для спонтанного деления ^{252}Cf и ^{256}Fm

Кратность	^{252}Cf	^{256}Fm
0	1809	2006
1	4873	4104
2	5000	3959
3	2850	2318
4	946	769
5	169	191
6	31	32
7	1	3

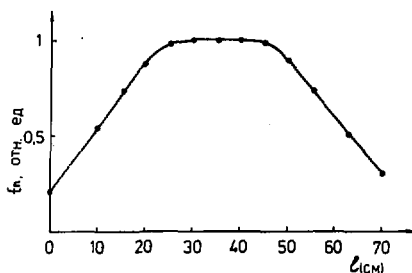


Рис. 3. Зависимость эффективности регистрации одиночных нейтронов ϵ_n от положения источника l .

Для проведения измерений, в которых не требуется чувствительный объем большой величины, была предусмотрена возможность помещения в центре детектора цилиндрической вставки из оргстекла диаметром 200 и длиной 700 мм с 12 дополнительными ^3He -счетчиками, расположенными в два ряда. Объем полости для образца в этом случае равнялся $0,3 \text{ дм}^3$, эффективность регистрации одиночных нейтронов для источника, расположенного в центре этого объема, по оценкам, должна составлять $\epsilon_n = 0,60-0,65$.

Среднее время жизни нейтронов в детекторе было определено экспериментально. На рис. 4 показано распределение времен регистрации нейтронов счетчиками, измеренное с помощью источника ^{242}Pu , помещенного в ионизационную камеру. Сигнал от осколков деления ^{242}Pu был стартовым для временного анализатора. Было зарегистрировано около 6500 событий. Измеренное время жизни нейтронов $\tau = 20 \text{ мкс}$.

Для определения возможности использования детектора в экспериментах по поиску в природе сверхтяжелых элементов /СТЭ/ представляли интерес фоновые характеристики детектора. Работы по поиску в природе СТЭ проводятся в течение ряда лет несколькими группами /см., например, /29/ /. Результаты этих экспериментов свидетельствуют о том,

что если искомые СТЭ присутствуют в земных образцах или метеоритах, то их концентрация очень мала. Это обстоятельство за-

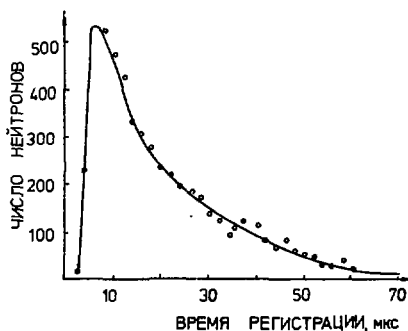


Рис. 4. Распределение времен регистрации нейтронов относительно старта.

ставляет тщательно подходить к выбору методов наблюдения СТЭ. Наибольшая чувствительность обнаружения СТЭ была достигнута при применении для регистрации их спонтанного деления детекторов нейтронов с ^3He -счетчиками. В работах ^{/2,3/} сообщалось о наблюдении активности спонтанного деления в метеоритах и геотермальных водах, которая, по-видимому, относится к неизвестному излучателю, принадлежащему к области СТЭ. Наблюдавшийся эффект составлял 0,01-1,0 события множественного испускания нейтронов в сутки на 1 кг образца. Так как фон нейтронных детекторов с ^3He -счетчиками определяется в значительной степени нейтронами, возникающими при взаимодействиях космических лучей с конструкционными материалами детектора и веществом исследуемого образца, то для его подавления детекторы помещались в соляной шахте на глубине 1100 метров водного эквивалента /м.в.э./. Дополнительно детекторы нейтронов защищались системой из счетчиков Гейгера-Мюллера, которые блокировали электронную схему при прохождении через них космических частиц. Данные о фоновых характеристиках некоторых детекторов нейтронов приведены в табл.2.

В настоящей работе фоновые измерения были выполнены в помещении с защитой из бетона толщиной 6 м /15 м.в.э./ с применением системы пластических сцинтилляторов для защиты от космического излучения. Результаты этих измерений приведены в последней строке табл.2. Фон одиночных нейтронов составлял около 150 отсчетов в час.

Для учета остаточного фона от взаимодействий космических лучей с материалом образца в чувствительный объем детектора помещались блоки из различных химически чистых материалов. Результаты измерений приведены в табл.3. Для сравнения в той же таблице приведены аналогичные данные для детектора с эффективностью $\epsilon_n = 0,16$ ^{/26/} и для детектора, действующего в Ок-Ридже ^{'28'}.

Для сопоставления возможностей различных детекторов при поисках СТЭ введем параметр чувствительности в виде

$$S = \epsilon_{SF} \cdot V/B,$$

где V - величина чувствительного объема детектора; B - фон пустой установки; ϵ_{SF} - эффективность регистрации спонтанного деления, которая определяется как сумма вероятностей регистрации 2,3 и т.д. нейтронов. Величина ϵ_{SF} зависит от среднего числа мгновенных нейтронов $\bar{\nu}$ и дисперсии их распределения по множественности σ_{ν}^2 . В табл.2 и 3 приведены значения ϵ_{SF} , рассчитанные для спонтанного деления ^{252}Cf . Как видно из табл.2, детектор, описанный в настоящей работе, имеет параметр чувствительности S в 10-80 раз выше, чем другие детекторы ^{/6,15,28/} и уступает по этому параметру только детекторам, описанным в работе ^{/20/}.

Таблица 2

Фоновые характеристики различных детекторов

Тип детектора	ϵ_n	$\epsilon_{SF} (^{252}Cf)$	объем защита образца		Фон без образца: число событий в сутки с кратностью K			Ссылка
			дм ³	м.в.э.	K=2	K=3	K=4	
³ He-счетчики	0,30	0,31 (0,09)	20	40		0,6		/15/x
³ He-счетчики	0,47	0,57	2,0	40	11,6	1,0		/28/
жидкий сцинтиллятор	0,65	0,78 (0,19)	10	600			0,5	/6/xx
³ He-счетчики	0,38 0,58	0,44 0,70	10 6	1100	$\leq 0,002$	$< 0,002$	$< 0,002$	/20/
³ He-счетчики	0,48	0,56	10	15	1	0,1	$\leq 0,03$	xxx

x - в скобках указано значение $\epsilon_{SF} (^{252}Cf)$ при $m=3$; данные о фоне событий с кратностью 2 в работе не приведены;

xx - в скобках указано значение $\epsilon_{SF} (^{252}Cf)$ при $m=4$; данные о фоне событий с кратностью 2 и 3 в работе не приведены;

xxx - настоящая работа.

Таблица 3

Данные о фоне, возникающем за счет нейтронов, образующихся при взаимодействиях космических лучей с различными материалами

$\epsilon_{SF} (^{252}Cf)$	Защита м.в.э.	материал	Вес, кг	Число событий с кратностью K в сутки			Ссылка
				K=2	K=3	K=4	
0,12	40	свинец	50	8	1,7	1,7	/26/
		железо	30	2,8			
		алюминий	11	0,5			
0,57	40	Bi₂O₃	0,5	6,6	1,7	0,6	/28/
0,58	15	свинец	25	4,0	1,8	$< 0,1$	x
		железо	30	3,4	1,4	$< 0,1$	

x - настоящая работа.

Нейтронные детекторы позволяют наряду с регистрацией редких событий спонтанного деления получать информацию о распределении по кратностям зарегистрированных событий. Такая информация используется для определения параметров распределения по множественности мгновенных нейтронов 21,27 . При отсутствии стартовых сигналов от детектора осколков деления в распределении нейтронов по кратностям отсутствуют события с кратностью 0 и 1. Помимо этого при поиске редких событий спонтанного деления объем получаемой статистики бывает небольшим. Эти обстоятельства затрудняют интерпретацию данных и требуют применения методов обработки, отличающихся от тех, которые использовались в других работах /см., например, /.

Мы использовали для определения параметров распределения нейтронов по множественности метод максимального правдоподобия. Функция правдоподобия L строилась на основе мультиномиального распределения в виде

$$L(\bar{\nu}, \sigma_{\nu}^2) = \exp \left\{ - \sum_{k \geq m} \left(\sqrt{N_k^{\text{ЭКСП}}} - \sqrt{N_k^{\text{РАСЧ.}}(\bar{\nu}, \sigma_{\nu}^2, \epsilon_n)} \right)^2 \right\},$$

где $N_k^{\text{ЭКСП}}$ - число зарегистрированных событий с кратностью k ; ϵ_n - эффективность регистрации одиночных нейтронов; m - наименьшая кратность регистрируемых событий; при работе без старта от детектора осколков деления $m=2$.

$$N_k^{\text{РАСЧ.}}(\bar{\nu}, \sigma_{\nu}^2, \epsilon_n) = \left(\sum_{i \geq m} N_i^{\text{ЭКСП}} \prod_{i \geq m} F_i(\bar{\nu}, \sigma_{\nu}^2) \right) \cdot F_k(\bar{\nu}, \sigma_{\nu}^2),$$

$$F_k(\bar{\nu}, \sigma_{\nu}^2) = \sum_{\nu \geq k} \frac{\nu! \epsilon_n^k (1 - \epsilon_n)^{\nu - k}}{k! (\nu - k)!} P_{\nu}(\bar{\nu}, \sigma_{\nu}^2),$$

$P_{\nu}(\bar{\nu}, \sigma_{\nu}^2)$ - вероятность испускания ν нейтронов, которая рассчитывалась на основе распределения Гаусса, перенормированного с учетом условия $\nu \geq 0$. Такой выбор $P_{\nu}(\bar{\nu}, \sigma_{\nu}^2)$ дает хорошее согласие с имеющимися экспериментальными данными. Были исследованы зависимости функции правдоподобия L от ϵ_n , m и полного числа зарегистрированных событий. На рис. 5 для иллюстрации показаны линии постоянного уровня функции правдоподобия L при выборке 1000 событий из экспериментального распределения по кратностям нейтронов, испускаемых при спонтанном делении ^{252}Cf / $m=2$; $\epsilon_n=0,483$ /. На рис. 6 показаны зависимости относительной ошибки в определении $\bar{\nu}$ от полного числа зарегистрированных событий при различных эффективностях ϵ_n . Относительная ошибка $\Delta \bar{\nu} / \bar{\nu}$ определялась по уровню $L=0,7$. При одном и том же числе зарегистрированных событий ошибка в определении $\bar{\nu}$ уменьшается с увеличением эффективности детектора. Для де-

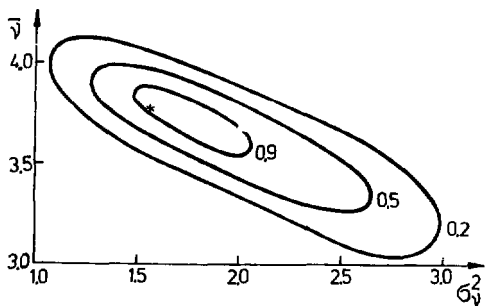


Рис.5. Линии постоянного уровня функции правдоподобия L . Звездочкой отмечены известные значения $\bar{\nu}$ и $\sigma_{\bar{\nu}}^2$ для ^{252}Cf '4'.

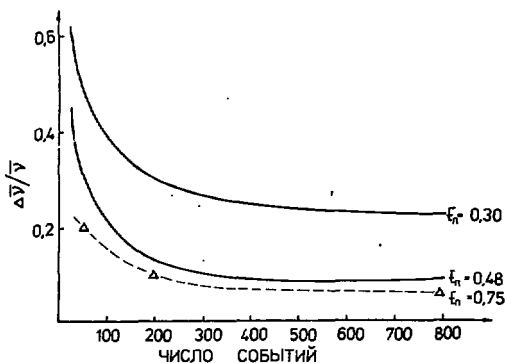


Рис.6. Зависимости относительной ошибки в определении $\bar{\nu}$ для ^{252}Cf от числа событий с кратностью ≥ 2 для различных эффективностей регистрации нейтронов. Треугольниками обозначены значения $\Delta\bar{\nu}/\bar{\nu}$ для расчетного распределения для ^{252}Cf при $\epsilon_n = 0,75$.

тектора, описанного в настоящей работе, достаточно зарегистрировать примерно 200 событий с кратностью ≥ 2 , чтобы указать $\bar{\nu}$ с точностью около 15%.

С помощью описанного детектора были проведены измерения параметров распределения по множественности нейтронов спонтанного деления ^{256}Fm . Ранее такие измерения с использованием стартового сигнала от детектора осколков деления были выполнены Даковским и др.^{/24/} и Хоффман и др.^{/5/}. В первой из упомянутых работ было зарегистрировано 204 события с кратностями ≥ 0 и получены: среднее число мгновенных нейтронов $\bar{\nu} = 3,73 \pm 0,18$; дисперсия $\sigma_{\nu}^2 = 2,30 \pm 0,65$ и параметр $\Gamma_2 = 0,897 \pm 0,047$. В работе^{/5/} было зарегистрировано около 47000 событий; измерения проводились при эффективности регистрации одиночных нейтронов $\epsilon_n = 0,31$. Авторы приводят только значения дисперсии и параметра Γ_2 : $\sigma_{\nu}^2 = 1,82 \pm 0,08$ и $\Gamma_2 = 0,863 \pm 0,006$.

Мы получали ^{256}Fm при облучении мишени из ^{249}Bk пучком ионов ^{22}Ne ^{/25/} на циклотроне тяжелых ионов У-300 Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ. После облучения сборник ядер отдачи помещался в ионизационную камеру, регистрирующую осколки деления и расположенную в чувствительном объеме детектора нейтронов. Сигналы от ионизационной камеры запускали схему регистрации нейтронов. Было наблюдеено 13382 события. Распределение по кратностям зарегистрированных нейтронов приведено во втором столбце табл.1. Их среднее число на одно деление $\bar{N} = 1,735 \pm 0,011$. Среднее число мгновенных нейтронов определялось из соотношения $\bar{\nu}(^{256}\text{Fm}) = \bar{\nu}(^{252}\text{Cf}) \cdot (\bar{N}(^{256}\text{Fm}) / \bar{N}(^{252}\text{Cf}))$, значение $\bar{\nu}(^{252}\text{Cf})$ взято из^{/4/}. Для ^{256}Fm получены следующие параметры распределения нейтронов по множественности: $\bar{\nu} = 3,59 \pm 0,06$; $\sigma_{\nu}^2 = 2,16 \pm 0,05$; $\Gamma_2 = 0,89 \pm 0,03$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанный детектор может быть применен как для поисков в природе СТЭ, так и для изучения спонтанного деления короткоживущих тяжелых ядер. При работе в помещении с защитой от космических лучей 15 м.в.э., с системой антисовпадений из пластических сцинтилляторов предельная концентрация СТЭ, которая может быть обнаружена с помощью этого детектора, составляет $/0,5-1,0/ \cdot 10^{-13}$ г/г /при периоде полураспада СТЭ $T_{1/2} = 10^9$ лет/. Преимуществом настоящего детектора при изучении спонтанного деления короткоживущих ядер является его низкая чувствительность к фону γ -излучения, что может иметь решающее значение при получении этих ядер на пучках тяжелых ионов. В то же время эффективность регистрации одиночных нейтронов, достигнутая с помощью этого детектора, позволяет извлекать надежную информа-

цию о параметрах распределения по множественности нейтронов деления.

Авторы выражают глубокую благодарность Г.Н.Флерову и Ю.Ц.Оганесяну за большую поддержку данной работы и многие полезные советы и обсуждения, а также В.И.Чепигину, С.В.Степанцову, Б.В.Фефилову, Т.С.Саламатиной и Р.Н.Сагайдаку за помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Флеров Г.Н. ОИЯИ, Р7-11097, Дубна, 1977.
2. Флеров Г.Н. и др. ЯФ, 1977, 26, с.449.
3. Flerov G.N. et al. Z.Phys.A, 1979, 292, p.43.
4. Lazarev Yu.A. At.Energy Review, 1977, 15, p.75.
5. Hoffman D.C. et al. Phys.Rev. C., 1980, 21, p.637.
6. Cheifetz E. et al. Phys.Rev.C., 1972, 6, p.1348.
7. Veeseer L.R. et al. Phys.Rev.C., 1977, 16, p.1792.
8. Becker H.J. et al. Nucl.Instr. & Meth., 1979, 159, p.75.
9. Walsk R.L., Boldeman J.W. Nucl.Phys.A., 1977, 276, p.189.
10. Lees E.W. et al. Nucl.Instr.& Meth., 1980, 171, p.29.
11. Sekharan K.K. et al. Nucl.Instr.& Meth., 1976, 133, p.253.
12. Прохорова Л.И., Смиринкин Г.Н. ЯФ, 1968, 7, с.961.
13. Тер-Акопьян Г.М. и др. ОИЯИ, Р13-5391, Дубна, 1970.
14. Grimm W. et al. Phys.Rev.Lett., 1971, 26, p.1040.
15. Macklin R.L. et al. Nucl.Instr.& Meth., 1972, 103, p.131.
16. Ketelle B.H. et al. Phys.Rev.Lett., 1977, 37, p.1734.
17. Dowdy E.J. et al. Nucl.Instr. & Meth., 1974, 15, p.573.
18. Прохорова Л.И. и др. АЭ, 1971, 30, с.250.
19. Даковский М. и др. ОИЯИ, 13-6520, Дубна, 1972.
20. Flerov G.N., Ter-Akopian G.M. Atomki Közlemeyek, 1979, 21, p.93.
21. Попеко А.Г. и др. ЯФ, 1976, 24, с.473.
22. Герстенбергер Р. и др. ОИЯИ, 13-11109, Дубна, 1977.
23. Челноков Л.П. В кн.: X Международный симпозиум по ядерной электронике /сборник аннотаций/. ZfK-413, Дрезден, 1980, с.116.
24. Даковский М. и др. ЯФ, 1972, 16, с.1167.
25. Букланов Г.В. и др. ОИЯИ, Р7-12762, Дубна, 1979.
26. Флеров Г.Н. и др. ОИЯИ, Р6-7588, Дубна, 1973.
27. Dakowski M. et al. JINR, E11-6969, Dubna, 1973.
28. Fireman E.L. et al. J.Inorg.Nucl.Chem., 1979, 41, p.613.
29. Herrmann. Inorganic Chem., Ser.Two, vol.8; Radiochemistry, Ed. A.G.Maddock, Butterworth, London, 1975, p.221-272; Herrmann G. Nature, 1979, 280, p.543.

Рукопись поступила в издательский отдел
9 января 1981 года.