

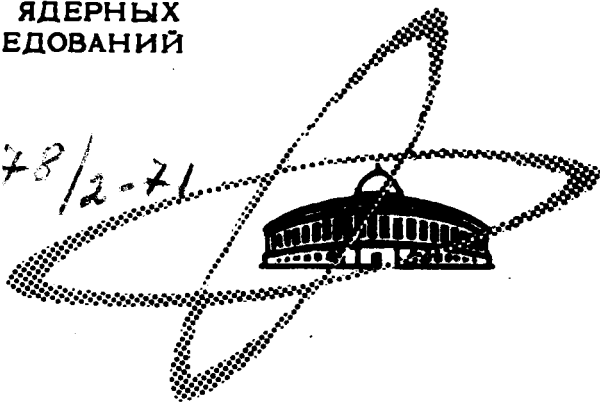
13/41-71

Ф-716

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

3878/2-71



P7 - 6093

Г.Н.Флеров, С.А.Карамян, Г.С.Попеко,  
А.Г.Попеко, И.А.Шелаев

РЕАКЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ  
СОСТАВНОГО ЯДРА  
С УСКОРЕННЫМИ ИОНАМИ КСЕНОНА

1971

P7 - 6093

Г.Н.Флеров, С.А.Карамян, Г.С.Попеко,  
А.Г.Попеко, И.А.Шелаев

РЕАКЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ  
СОСТАВНОГО ЯДРА  
С УСКОРЕННЫМИ ИОНАМИ КСЕНОНА

*Направлено в ЯФ*

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

Физика взаимодействия сложных ядер - один из наиболее интенсивно развивающихся в последние годы разделов ядерной физики. В ядерных реакциях с ускоренными тяжелыми ионами впервые обнаружены новые виды радиоактивности, синтезированы новые элементы и изучены новые физические явления. Прогресс физики тяжелых ионов неразрывно связан с совершенствованием ускорительной техники, повышением интенсивности пучков и ускорением все более и более тяжелых ядер. В последние годы была сформулирована задача создания ускорителя, позволившего бы ускорять ионы всех элементов периодической системы вплоть до урана, и во многих странах мира начато проектирование и сооружение таких машин. Интерес к ускорению очень тяжелых ионов, таких как ксенон, особенно возрос в связи с теоретическим предсказанием существования острова стабильности в области сверхтяжелых элементов  $Z > 110$  и предложением, впервые высказанным в 1964 году <sup>/1/</sup>, об использовании реакции деления ядер очень тяжелыми ионами, как методе синтеза изотопов и элементов, в том числе и элементов из новой области стабильности. В результате детального изучения в Лаборатории ядерных реакций в Дубне деления ядер тяжелыми ионами удалось на основе экстраполяций экспериментальных данных количественно оценить сечения образования сверх-

тяжелых элементов в реакциях деления ядер урана ускоренными ионами ксенона и урана<sup>/2/</sup>. Полученные оценки позволяют надеяться на успешный синтез сверхтяжелых элементов в реакции  $^{238}\text{U} ( ^{136}\text{Xe}, f )$ .

В 1971 году в ЛЯР ОИЯИ был осуществлен проект соединения двух циклотронов У-300 и У-200 для получения ускоренных ионов Хе с энергией, достаточной для протекания ядерных реакций. Один из лучших в мире на сегодняшний день ускорителей тяжелых ионов - классический циклотрон У-300 в этом случае используется как инжектор, дающий пучок восьми- или девятизарядных ионов ксенона с энергией 0,88 и 1,19 Мэв/нуклон соответственно. После ввода пучка в изохронный циклотрон У-200 и обдирки частиц на алюминиевой фольге происходит ускорение ионов повышенной зарядности до конечного радиуса У-200. В августе 1971 года был впервые получен пучок ускоренных ионов  $^{132}\text{Xe}$  с энергией ~ 6 Мэв/нуклон. Ускорение ксенона на тандем-циклотроне ЛЯР ОИЯИ описано в<sup>/3/</sup>.

В настоящей работе сообщается о наблюдении первой ядерной реакции с ускоренными ионами ксенона.

### Эксперимент и результаты

Производилось облучение толстой мишени из магния естественного изотопного состава на внутреннем пучке циклотрона У-200 ионами  $^{132}\text{Xe}^{+26}$ . Схема опыта показана на рис. 1. Полупроводниковый поверхностно-барьерный детектор регистрировал частицы, рассеянные на тонкой фольге из золота, и являлся монитором пучка. Мишень была электрически изолирована и служила коллектором тока пучка. После 15-часового облучения потоком частиц интенсивностью ~  $10^8$  1/сек производилось измерение  $\gamma$ -активности, накопленной в мишени с помощью  $\text{Ge(Li)}$ -полупроводникового детектора объемом  $30 \text{ см}^3$  с энергетическим разрешением 3,5 кэв по линиям  $^{60}\text{Co}$ .

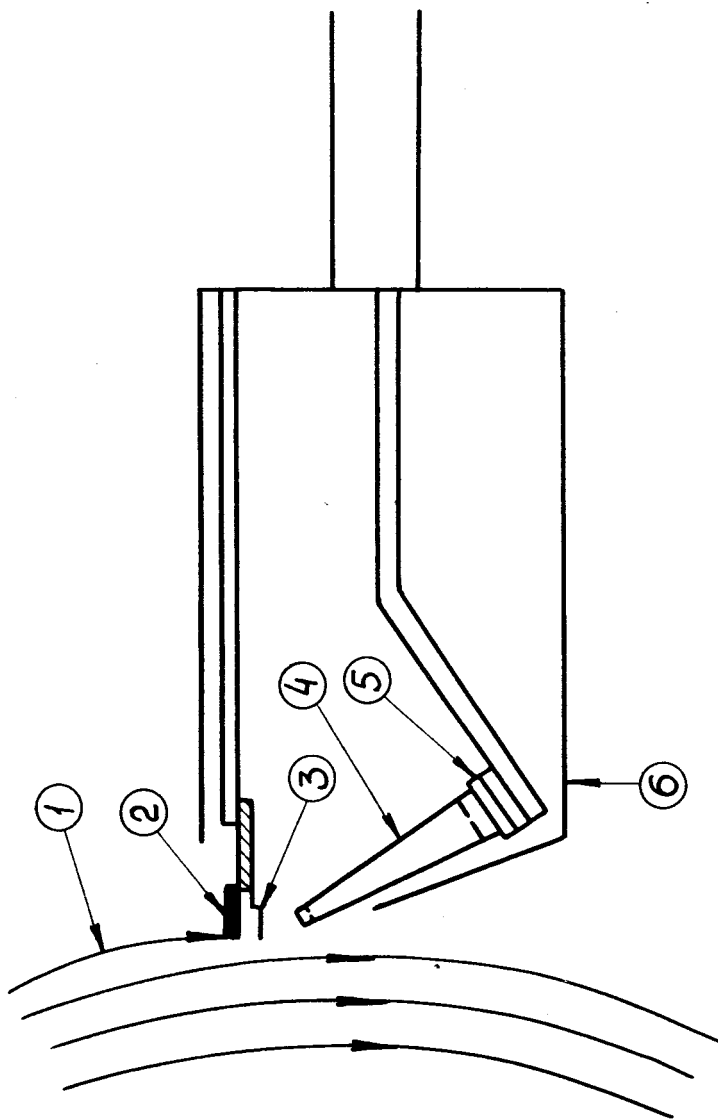


Рис. 1. Схема опыта. 1 - пучок ионов, 2 - мишень, 3 - рассеивающая фольга, 4 - коллиматор, 5 - детектор, 6 - кожух.

В результате реакции образования составного ядра с испарением нейтронов  $^{24}\text{Mg} (^{132}\text{Xe}, 3-5n)$  образуются изотопы  $^{153-151}\text{Dy}$ , цепи распада которых приведены в табл. 1. На рис. 2 показан  $\gamma$ -спектр, полученный через 7 часов после окончания облучения за время измерения 3,5 часа. Спектр весьма богат  $\gamma$ -линиями, большинство из которых однозначно идентифицируется как  $\gamma$ -переходы, принадлежащие указанным изотопам диспрозия и их дочерним продуктам. В спектре также идентифицированы  $\gamma$ -линии, принадлежащие изотопам гадолиния, образованным в реакциях  $(^{132}\text{Xe}, \alpha xn)$ . Достаточно высокий уровень  $\gamma$ -активности позволил детально проследить распад изотопов  $^{152}\text{Dy}$ ,  $^{152}\text{Tb}$ ,  $^{151}\text{Tb}$ ,  $^{153}\text{Tb}$ . На рис. 3 показана зависимость интенсивности основных  $\gamma$ -переходов изотопов  $^{152}\text{Dy}$ ,  $^{152}\text{Tb}$ ,  $^{151}\text{Tb}$  от времени. Экспериментально полученные значения периодов полураспада этих изотопов находятся в хорошем согласии с табличными данными<sup>14/</sup>. В таблице 2 энергии и относительные интенсивности  $\gamma$ -линий изотопов тербия, полученные экспериментально, сравниваются с табличными значениями. Наблюдается неплохое согласие в пределах точности эксперимента практически для всех  $\gamma$ -переходов, что в дополнение к измерениям периодов полураспада свидетельствует об однозначности идентификации.

Используя измеренные значения интенсивности  $\gamma$ -линий в спектрах, можно оценить сечения реакций, приводящих к образованию соответствующих изотопов. Однако точный расчёт сечений затруднен отсутствием экспериментальных зависимостей пробег-энергия для ионов  $^{132}\text{Xe}$  в магнии, не очень высокой точностью измерения тока пучка и необходимостью делать определенные предположения о виде функций возбуждения каждой из реакций испарения 3-5 нейтронов при облучении  $^{24}\text{Mg}$  ионами  $^{132}\text{Xe}$ . Кроме того, для изотопов  $^{152}\text{Dy}$  и  $^{152}\text{Tb}$  отсутствуют литературные данные об абсолютном выходе  $\gamma$ -квантов для всех переходов, что не позволяет рассчитать сечение реакции  $^{24}\text{Mg} (^{132}\text{Xe}, 4n)$ . Для максимальных сечений реакций  $^{24}\text{Mg} (^{132}\text{Xe}, 3n)$  и  $^{24}\text{Mg} (^{132}\text{Xe}, 5n)$  были получены зна-

Таблица 1

Цепи распада изотопов  $^{153-151}\text{Dy}$

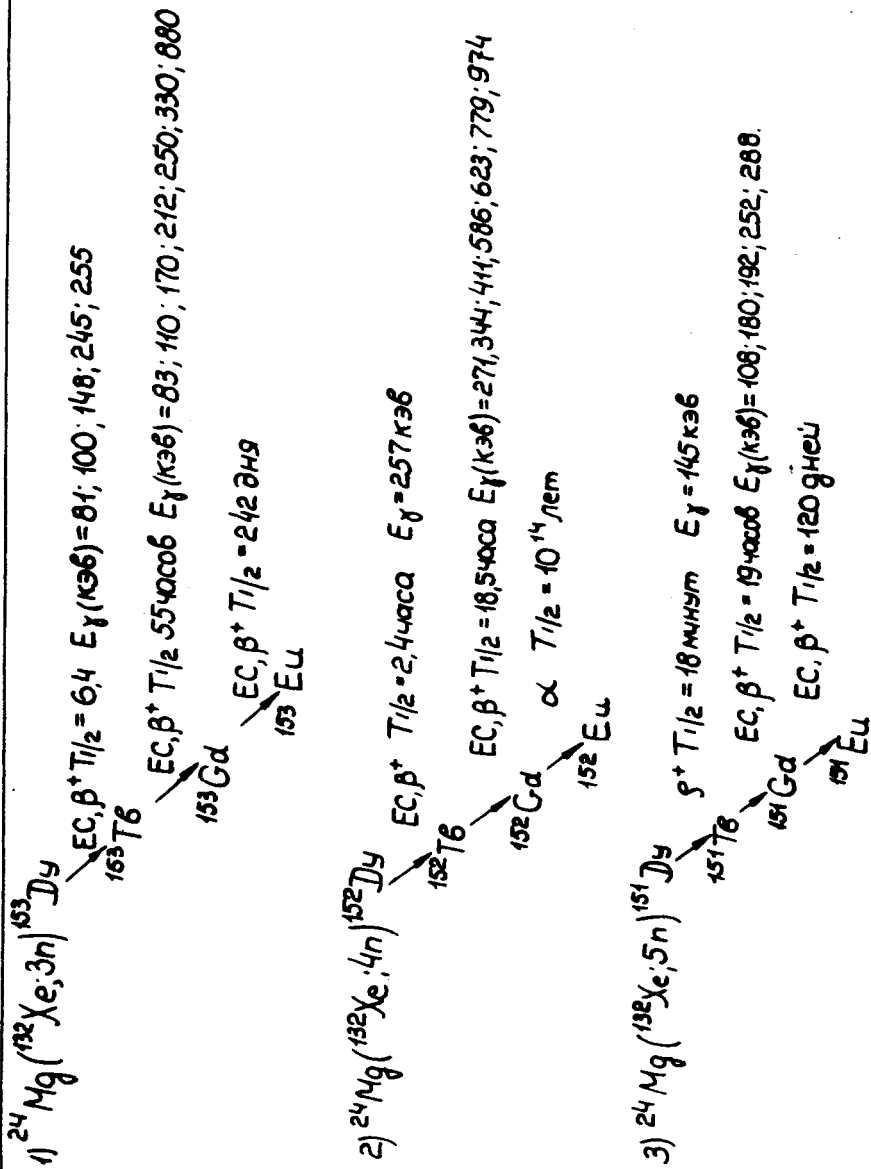


Таблица 2

Сравнение экспериментальных и табличных данных для энергии и относительной интенсивности  $\gamma$ -переходов при распаде изотопов  $^{153-151}\text{Tb}$ ,  $^{151,152}\text{Dy}$ . \* - отмечены переходы, которые использовались для нормировок экспериментальных значений выхода  $\gamma$ -квантов к табличным данным.

Изотоп	Табличные данные			Экспериментальные данные		
	$T_{1/2}$	$E_{\gamma}$ (кэВ)	Относительная интенсивность	$T_{1/2}$	$E_{\gamma}$ (кэВ)	Относит. интенсивность
$^{151}\text{Dy}$	18 минут	145	94	—	146	—
$^{151}\text{Tb}$	19 часов	180	18	$(18 \pm 2)$ часов	181	$15 \pm 7$
		192	4		192	$7,5 \pm 4,0$
		288	32		288	32 *
$^{152}\text{Dy}$	2,4 часа	257	100	$(2,55 \pm 0,15)$ часа	257	—
$^{152}\text{Tb}$	18,5 часов	344	100	$(18 \pm 2)$ часов	344	100 *
		411	6		412	$8,0 \pm 3$
		586	14		587	$16 \pm 5$
		779	14		778	$12 \pm 5$
		974	10		973	$12 \pm 5$
$^{153}\text{Tb}$	55 часов	83	11	$(60 \pm 5)$ часов	84	$14 \pm 4$
		170	9		170	$7 \pm 3$
		212	30		212	30 *



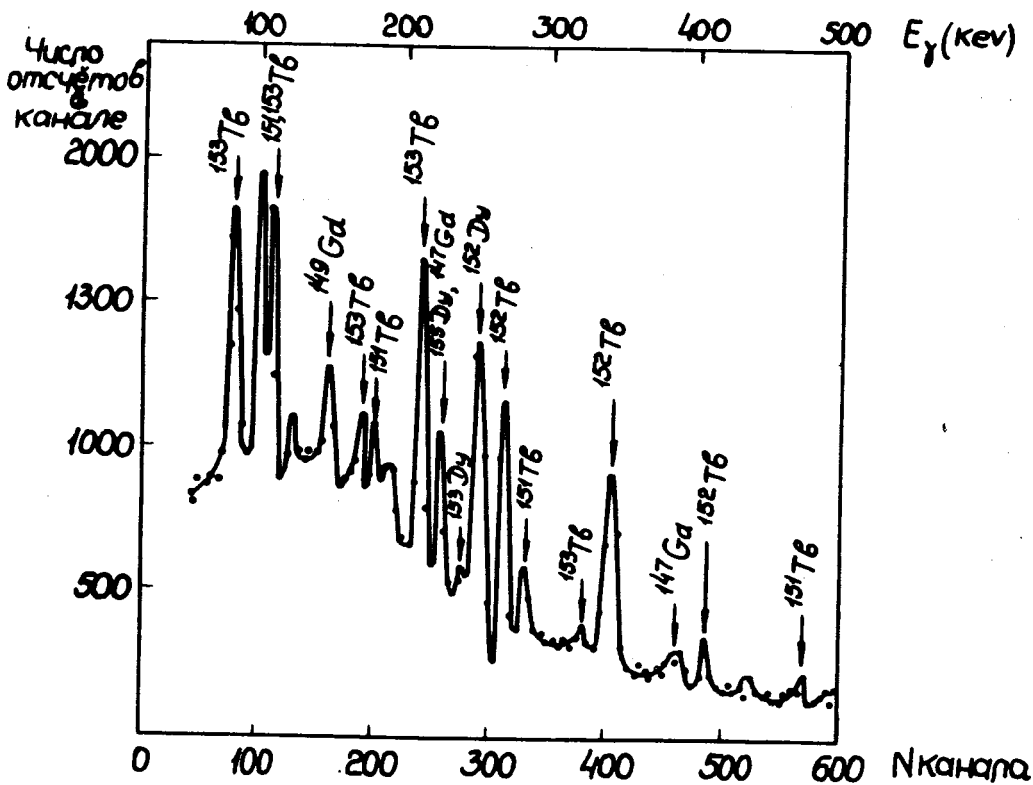


Рис. 2. Аппаратурный  $\gamma$ -спектр магниевой мишени через 7 часов после окончания облучения. Гамма-линии  $^{152}\text{Dy}$  и  $^{152}\text{Tb}$  с энергиями 257 и 344 кэв уменьшены в четыре раза.

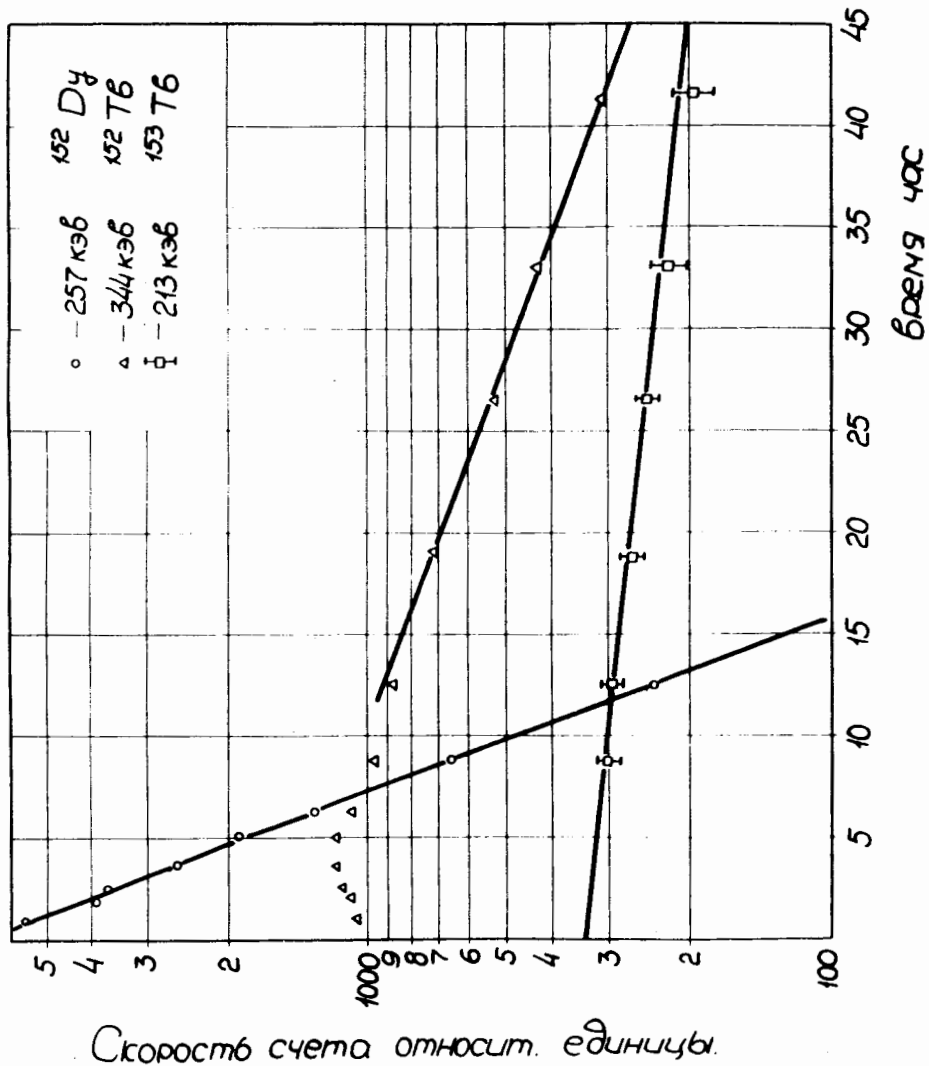


Рис. 3. Кривые распада изотопов  $^{152}\text{Dy}$ ,  $^{152}\text{Tb}$  и  $^{153}\text{Tb}$ , измеренные по интенсивности основных  $\gamma$ -переходов.

чения 250 и 240 мбарн в предположении, что функции возбуждения этих реакций имеют вид кривых Гаусса с шириной на половине высоты 12 Мэв в шкале энергий возбуждения составного ядра. Для расчёта использовались значения удельных потерь ионов  $^{132}\text{Xe}$ , табулированные Нортклиффе<sup>/5/</sup>. При вычислениях не учитывался вклад реакций на изотопах  $^{25}\text{Mg}$  и  $^{26}\text{Mg}$  в полный выход изотопов  $^{153-151}\text{Dy}$ .

По порядку величины полученные значения сечений согласуются с сечениями, обычно наблюдаемыми для реакций испарения нейтронов из составного ядра (см., например, <sup>/6/</sup>). Однако тот факт, что полученное значение сечения реакции  $^{24}\text{Mg}(^{132}\text{Xe}, 5n)$  не превосходит сечение реакции испарения трех нейтронов, позволяет сделать вывод, что максимальная энергия ионов  $^{132}\text{Xe}$  соответствует энергии возбуждения, при которой функция возбуждения реакции ( $^{132}\text{Xe}, 5n$ ) не достигает максимума. Отсюда можно оценить энергию ионов  $^{132}\text{Xe}$ :  $(640 \pm 40)$  Мэв, что не сильно отличается от расчётной энергии  $^{132}\text{Xe}^{+26}$  на радиусе ускорения 85 см в циклотроне У-200. Следует отметить, что уверенное использование для реакции  $^{24}\text{Mg}(^{132}\text{Xe}, xn)$  обычных для реакций составного ядра параметров ширины функций возбуждения и положения их максимумов вполне обосновано. Действительно, в системе центра инерции нет никакого различия между реакцией  $^{24}\text{Mg}(^{132}\text{Xe}, xn)$  и обратной реакцией  $^{132}\text{Xe}(^{24}\text{Mg}, xn)$ . Последняя же не может значительно отличаться по характеристикам от реакций, например, с ионами  $^{22}\text{Ne}$ , которые хорошо изучены.

Основной результат данной работы заключается в наблюдении первой ядерной реакции с ускоренными ионами ксенона.

Авторы благодарны Г.М. Тер-Акопьяну, Б.В. Фефилову за помощь в создании аппаратуры и С. Хойнацкому за полезное обсуждение. Выполнение данной работы стало возможным только благодаря огромному труду, вложенному в ускорение ионов ксенона на тандем-циклотроне ЛЯР.

Мы глубоко благодарны коллективу авторов проекта ускорения ионов ксенона В.С. Алфееву, Б.А. Загеру, С.И. Козлову, И.В. Колесову, В.Н. Мельникову, Р.Ц. Оганесяну, Ю.Ц. Оганесяну, В.А. Чугрееву, а также начальникам смен ускорителей У-300 и У-200 за их четкую работу при проведении эксперимента с ионами ксенона.

#### Литература

1. G.N. Flerov, V.A. Karnaukhov. C.Rendus du Congres Internat. de Physique Nucleaire, 2-8 July, 1964, v. I, p. 373.
2. С.А. Карамян, Ю.Ц. Оганесян. Сообщение ОИЯИ Р7-4339, Дубна, 1969.
3. И.А. Шелаев, В.С. Алфеев и др. Сообщение ОИЯИ Р9-6062, Дубна, 1971.
4. С.М. Lederer, J.M. Hollander, I. Perlman. Table of Isotopes, Willey, 1967.
5. L. Northcliffe, R. Schilling. Nucl.Data Tables., 7, 233, 1970.
6. Ю.Ц. Оганесян, Ю.Э. Пенионжкевич и др. Сообщение ОИЯИ Р7-5912, Дубна, 1971.

Рукопись поступила в издательский отдел  
21 октября 1971 года.