

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

2552 / 83

16/5-83  
P6-83-141

Н.Г.Зайцева, М.Я.Кузнецова, О.Кнотек,  
А.Ковалев, С.А.Новиков, В.А.Халкин

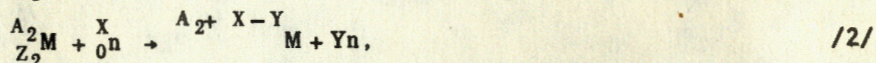
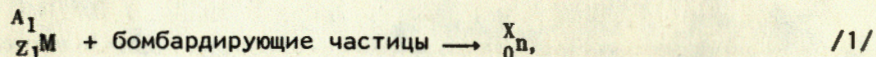
ПОИСК РАДИОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ  
ПОЛИНЕЙТРОННЫХ ЯДЕР  
ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ  
ПРОТОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 10 ГэВ  
С ЙОДИДОМ НАТРИЯ

Направлено в журнал  
"Radiochimica Acta"

1983

## ВВЕДЕНИЕ

Гипотетические представления о существовании нейтронных звезд во Вселенной и некоторые теоретические предпосылки устойчивости полинейтронных ядер <sup>/1-4/</sup> стимулировали экспериментальный поиск рождения полинейтронов в различных ядерных реакциях <sup>/5-12/</sup>. С методической точки зрения, все поставленные опыты были однотипными и отвечали такой схеме:



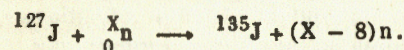
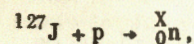
где /1/ представляет собой реакцию образования полинейтронных ядер  ${}_0^Xn$ , а /2/ - реакцию захвата их так называемой мишенью-зондом /или мишенью-пробой/ <sup>/12/</sup>. Детектирование проводили по радионуклидам с массовым числом, которое на 2-5 единиц больше, чем у наиболее тяжелого изотопа элемента мишени-зонда, исходя из предположения, что эти радионуклиды образуются в реакциях полинейтронов с атомными ядрами мишени-зонда. Продукты реакций были нейтроноизбыточными нуклидами, и они подбирались так, чтобы их дочерние радионуклиды можно было после радиохимического выделения и очистки идентифицировать по характерному излучению. Результаты измерений служили основой для расчета числа атомов  ${}_{A+X-Y}^M$ , которое пропорционально сечению образования полинейтронов  $\sigma_p$  и сечению реакций их взаимодействия с ядрами мишени  $\sigma_d$ , приводящих к заданным нуклидам. При этом предполагалось, что  ${}_0^Xn$  имеет достаточно продолжительное время жизни,  $\tau > 10^{-9} \text{ с} /11/$ .

Ни в одном из исследований <sup>/5-12/</sup> положительные результаты не были получены. Например, при облучении урана протонами с энергией 400 ГэВ и детектировании  ${}_0^Xn /6 \leq X \leq 12/$  по образованию  ${}^{212}\text{Pb}$  в природном свинце рассчитанные верхние пределы произведения  $\sigma_p \sigma_d < 0,6 \cdot 10^{-55} \text{ см}^4 /8/$ .

В другом случае при поисках тетранейтрона при облучении природного свинца  $\pi^-$ -мезонами /120 МэВ/ это произведение  $\sigma_p \sigma_d \leq 2,5 \cdot 10^{-56} \text{ см}^4 /9,10/$ . Последние по времени работы посвященные поискам  ${}_0^4n$  в продуктах реакций  ${}^3\text{He}/44 \text{ МэВ}$  и  $130 \text{ МэВ}/ \text{ с } {}^{130}\text{Te}$  и природным теллуром <sup>/11/</sup> и поискам полинейтронов в нейтронном потоке атомного реактора с легководным замедлителем <sup>/12/</sup>. Было показано, что вероятность образования  ${}_0^4n$  на теллуре в  $1,2 \cdot 10^5$  раз меньше, чем вероятность вылета четырех и более несвязанных нейтронов <sup>/11/</sup>, и что вероятность образования  ${}_0^Xn /9 \leq X \leq 18/$  в  $10^{10}$  раз меньше, чем вероятность деления  ${}^{235}\text{U} /12/$ .

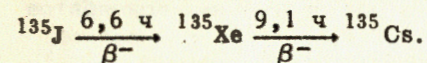
## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью нашей работы была оценка вероятности образования полинейтронов  ${}_0^Xn$  с  $X \geq 8$  в реакциях фрагментации при взаимодействии протонов с энергией 10 ГэВ с веществом мишени. Образование и захват  ${}_0^Xn$  происходили в мишени, в которой облучаемым элементом и одновременно элементом-зондом был йод, имеющий один стабильный изотоп  ${}^{127}\text{J}$ :



Как видно из приведенной схемы, объектом поиска был нуклид с  $\Delta A = 8$ . Это является главным отличием от других работ, выполненных на протонах высоких энергий, где  $\Delta A \leq 4 /5-8/$  для наиболее тяжелого изотопа элемента мишени-зонда.

Выбранная нами реакция детектирования полинейтронов приводила к образованию  ${}^{135}\text{J}$ , превращающегося в газообразный ксенон, который легко было выделить из массивной мишени и очистить. Удобными были и периоды полураспада материнского и дочернего нуклидов:



Поскольку в таком варианте эксперименты по поиску полинейтрона ранее не проводились, то нельзя было исключить возможности получения качественно новых результатов.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Облучение мишеней NaJ проводилось выведенным пучком протонов с энергией 10 ГэВ на синхрофазотроне Лаборатории высоких энергий ОИЯИ. Продолжительность экспозиций - от 8 до 12 часов при интегральном потоке  $\sim 10^{15}$  протонов/мишень. Мониторинг протонного пучка осуществлялся с помощью реакции  ${}^{27}\text{Al}(p, 3p){}^{24}\text{Na}$ , сечение которой было принято равным  $0,86 \cdot 10^{-26} \text{ см}^2 /13/$ .

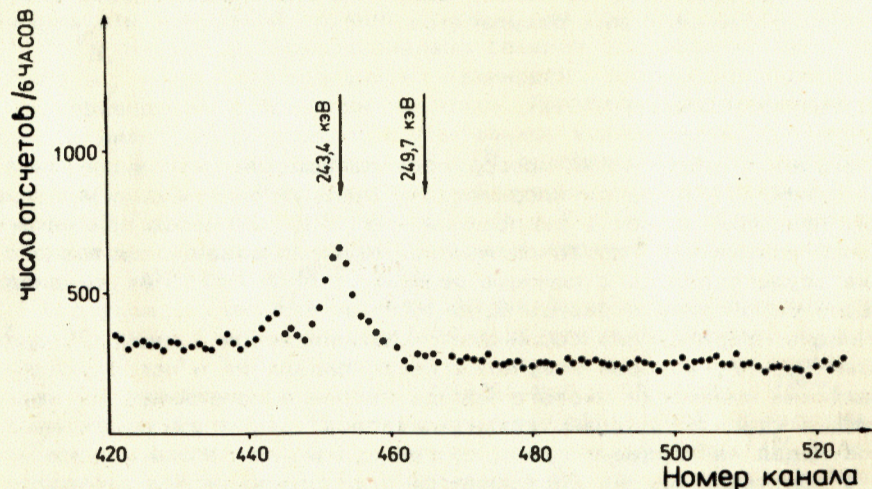
Мишень представляла собой слиток NaJ размером  $3,5 \times 3,5 \times 25 \text{ см}^3$  /весом  $\sim 1 \text{ кг}/$ , который получался после плавления и последующего охлаждения химически чистого йодида натрия в контейнере из нержавеющей стали <sup>/14/</sup>. Мишень устанавливалась так, чтобы пучок протонов падал на торцевую грань контейнера и шел по оси мишени. После облучения мишень доставлялась в радиохимическую лабораторию, где NaJ плавился и из него при  $670-700^\circ\text{C}$  в токе гелия удалялся радиоактивный ксенон, образовавшийся во время облучения в реакциях йода с протонами. Сброс этого спалогенного ксенона

продолжался 6-7 часов. Как показали проведенные предварительно модельные эксперименты с расплавом NaJ, меченым  $^{133}\text{J}$  и  $^{135}\text{J}$ , за это время содержание радиоксенона в мишени снижалось примерно на 5 порядков. С момента окончания сброса спалогенного ксенона начинался сбор накапливающегося дочернего  $^{135}\text{Xe}$  в ловушке с активированным углем, погруженной в жидкий азот, и одновременное измерение его гамма-спектра с помощью спектрометра с Ge(Li)-детектором объемом  $38\text{ см}^3$ , присоединенным к 4096-канальному анализатору. Разрешение спектрометра было равно 2 кэВ на линии 351,9 кэВ.

Для контроля за ходом эксперимента через каждые 6-8 часов накопленная информация передавалась на ЭВМ ЕС-1010 и обрабатывалась по программе ЭТАП<sup>15/</sup>. Выделение ксенона из мишени при одновременном измерении гамма-спектра продолжалось 16-18 часов. Затем сбор ксенона из мишени прекращался; измерения гамма-спектра ксенона, накопленного в ловушке, продолжались еще в течение ~20 часов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

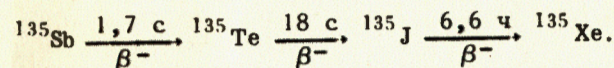
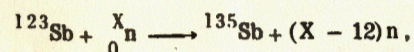
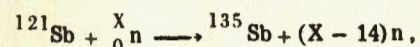
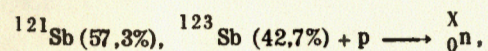
В экспериментах по поиску полинейтрона было проведено четыре облучения мишени из NaJ протонами с энергией 10 ГэВ. Ни в одном из опытов при измерениях гамма-спектров полученных препаратов не были обнаружены гамма-кванты от распада  $^{135}\text{Xe}$  с энергией 249,7 кэВ. Спектры в этой области энергий были идентичными от опыта к опыту и имели только одну линию 243,4 кэВ, принадлежащую  $^{125}\text{Xe}$  /  $T_{1/2} = 16,8\text{ ч}$  / см. рисунок/. Однако мы попытались



Участок гамма-спектра препарата радиоксенона, полученного из NaJ, облученного протонами /10 ГэВ/ и очищенного от спалогенного ксенона.

оценить верхний предел содержания в исследуемых спектрах гамма-лучей  $^{135}\text{Xe}$  с энергией 249,7 кэВ и на основе этой оценки дать верхний предел сечения образования  $^{135}\text{J}$  при взаимодействии протонов /10 ГэВ/ с ядрами  $^{127}\text{J}$ . Несмотря на субъективный характер обработки спектров, для всех опытов был получен практически одинаковый верхний предел величины сечений образования  $^{135}\text{J}$  при облучении NaJ протонами с энергией 10 ГэВ: от  $\leq 1 \cdot 10^{-32}$  до  $\leq 5 \cdot 10^{-32}\text{ см}^2$ .

Если допустить, что  $^{135}\text{J}$  образуется только в реакциях йода с полинейтронами, и принять, что в этих реакциях участвует половина атомов йода мишени, то верхний предел произведения сечений образования и захвата полинейтронов с последующим образованием  $^{135}\text{J}$   $\sigma_p \sigma_d \leq 1 \cdot 10^{-55}\text{ см}^4$ . Таким образом, образование  $^{135}\text{J}$  при  $X \geq 8$  в реакциях фрагментации NaJ столь же маловероятно, как и при фрагментации ядер урана /7,8/. Следует отметить, что, в принципе, есть возможность поставить эксперимент по определению захвата более тяжелых полинейтронных ядер. Для этой цели можно так же, как и в настоящей работе, использовать одну и ту же мишень для облучения и захвата полинейтронных ядер, а именно сурьму:



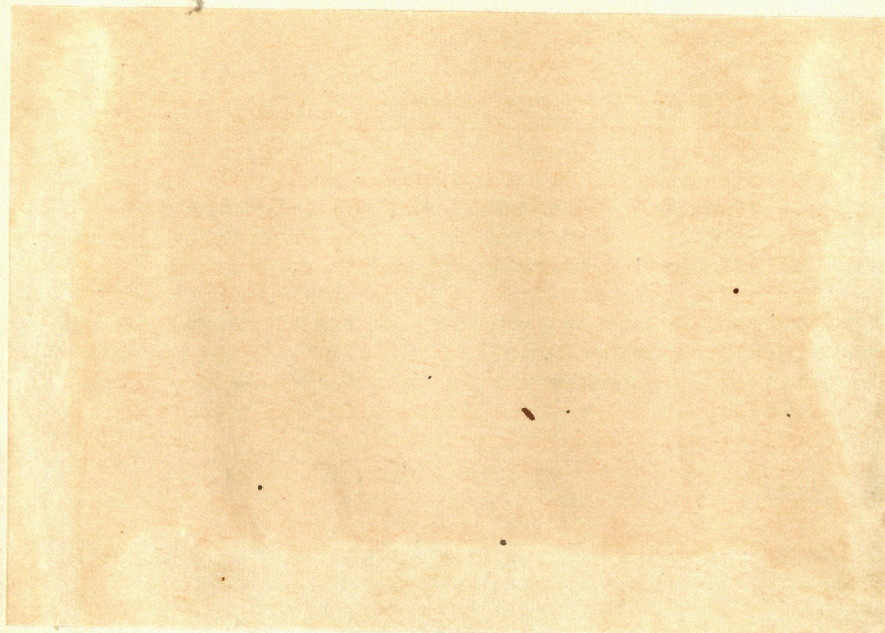
При такой постановке эксперимента будет практически исключено загрязнение следами спалогенного ксенона и тем самым улучшены условия детектирования полинейтронов.

В заключение авторы выражают благодарность группе, обеспечивавшей работу синхрофазотрона, В.И.Соболеву - за подготовку оборудования и В.Б.Бруданину - за обеспечение работы измерительного центра.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Mitra A.N., Bhasin V.S. Phys.Rev.Lett., 1966, 16, p.523.
2. Антоненко В.Я. и др. Письма в ЖЭТФ, 1974, 19, с.314.
3. Baz A.I., Bragin V.N. Phys.Lett., 1972, 39B, p.599.
4. Bevelacqua J.J. Phys.Lett., 1981, 102B, p.79.
5. Detraz C. Proc. 3rd Int.Conf. Nuclei Far from Stability, Cargese, Corsica, 1976. Geneva, 1976, p.246.

6. Detraz C. Phys.Lett., 1977, 66B, p.333.
7. Turkevich A. et al. Phys.Rev.Lett., 1977, 38, p.1129.
8. Turkevich A. et al. Phys.Lett., 1977, 72B, p.163.
9. Батусов Ю.А. и др. ОИЯИ, Р1-7475, Дубна, 1973.
10. Chultem D. et al. Nucl.Phys., 1979, A316, p.290.
11. De Boer F.W.N. et al. Nucl.Phys., 1980, A350, p.149.
12. Rao V.K. et al. J.Inorg.Nucl.Chem., 1981, 43, p.1.
13. Tobailem J. et al. CEA-N-1466(1), Saclay, 1971.
14. Зайцева Н.Г. и др. ОИЯИ, Р6-81-178, Дубна, 1981.
15. Гонич П.М. и др. ОИЯИ, Д10-11-11126, Дубна, 1978, с.330.



Рукопись поступила в издательский отдел  
9 марта 1983 года.

Зайцева Н.Г. и др.

Р6-83-141

Поиск радиохимическим методом полинейтронных ядер при взаимодействии протонов с энергией 10 ГэВ с йодидом натрия

Радиохимическим методом проведен поиск полинейтронных ядер  ${}^X_0n$  с  $X \geq 8$  в реакциях фрагментации при взаимодействии протонов с энергией 10 ГэВ с мишенью йодистого натрия. Сделана оценка вероятности образования ядер  ${}^X_0n / X \geq 8$ , показавшая, что верхний предел произведения сечений рождения и захвата полинейтронов ядром  ${}^{127}J$  с последующим образованием нуклида  ${}^{135}J$  ( $\Delta A = 8$ ) имеет величину  $\sigma_p \sigma_d \leq 1 \cdot 10^{-55} \text{ см}^4$ .

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Zaitseva N.G. et al.

Р6-83-141

A Radiochemical Search for Polyneutron Nuclei in the Interaction of 10 GeV Protons with Sodium Iodide

The radiochemical method has been used to search for polyneutron nuclei  ${}^X_0n$  with  $X \geq 8$  in fragmentation reactions at the interaction of 10 GeV protons with the target of sodium iodide. The production probability for  ${}^X_0n / X \geq 8$  nuclei has been estimated. The estimation shows that the product of cross sections of polyneutron production and capture by the  ${}^{127}J$  nucleus, followed by productions of the  ${}^{135}J$  nuclide ( $\Delta A = 8$ ), has the upper limit  $\sigma_p \sigma_d \leq 1 \cdot 10^{-55} \text{ cm}^4$ .

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983