

ИЗМЕРЕНИЕ СПЕКТРОВ ЛЕГКИХ ЯДЕР ПРИ ТРОЙНОМ ДЕЛЕНИИ ^{252}Cf И ПОИСК ИЗОТОПОВ ^{10}He И ^7H

АЛЕКСАНДРОВ Д. В., ГЛУХОВ Ю. А., ДЕМЬЯНОВА А. С., ДУХАНОВ В. И.,
МАЗУРОВ И. Б., НОВАЦКИЙ Б. Г., ОГЛОБЛИН А. А.,
САКУТА С. Б., СТЕПАНОВ Д. Н.

ИНСТИТУТ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ им. И. В. КУРЧАТОВА

(Поступила в редакцию 23 февраля 1982 г.)

Измерены энергетические спектры изотопов ^4He , ^6He , ^8He и ^3H при спонтанном делении ^{252}Cf с помощью $(\Delta E-E)$ -методики. Проведен поиск и определены верхние границы выходов нуклидов ^{10}He и ^7H . На основании результатов эксперимента сделан вывод о неустойчивости ядер ^{10}He и ^7H относительно распада на нуклоны.

1. Введение

Поиск и изучение нейтроноизбыточных ядер может дать ответ на один из важных вопросов, стоящих перед ядерной физикой: существует ли граница стабильности для ядер с большим избытком нейтронов? Область самых легких нейтроноизбыточных изотопов особенно интересна, так как здесь уже получены нуклиды с максимальным отношением числа нейтронов к числу протонов (N/Z). Экспериментально доказана стабильность относительно распада на нуклоны изотопов ^8He , ^{11}Li , ^{14}Be , и поиск следующих нуклидов, таких, как ^7H , ^{10}He , ^{13}Li , может дать ответ на вопрос, достигнута ли граница стабильности.

Одним из способов получения ядер с большим избытком нейтронов является спонтанное деление ^{252}Cf . Цель данного исследования — поиск изотопов ^{10}He и ^7H в продуктах спонтанного деления ^{252}Cf .

2. Измерение энергетических спектров изотопов гелия в делении ^{252}Cf

Обнаружение ядерно-стабильного изотопа ^8He сразу же привлекло внимание к более тяжелым изотопам гелия, а именно ^9He и ^{10}He . Полуэмпирические оценки и экстраполяции не дают однозначного ответа о стабильности изотопа ^{10}He . Подробное описание различных методов расчета энергии связи ядра ^{10}He и ссылки на оригинальные работы можно найти в обзоре [1].

За последнее десятилетие поиски ^{10}He велись особенно интенсивно [2–7], но все они дали отрицательный результат, что, по-видимому, указывает на ядерную неустойчивость ^{10}He .

Однако недавно появилась работа [8], в которой сообщается о наблюдении при распаде ^{252}Cf нескольких событий, объясняемых авторами вылетом ядра ^{10}He . По сравнению с предыдущими исследованиями спонтанного деления ^{252}Cf [6] в этой работе был понижен порог регистрации изотопа ^{10}He до 14,5 МэВ. Авторы указывают, что гипотеза о существовании нуклида ^{10}He нуждается в проверке, и для ее подтверждения необходим дополнительный эксперимент по поиску ^{10}He в тройном делении ^{252}Cf . Интерес к этому сообщению повышается в связи с тем, что соседний изотоп ^9He оказался неустойчив относительно распада на $^8\text{He} + n$

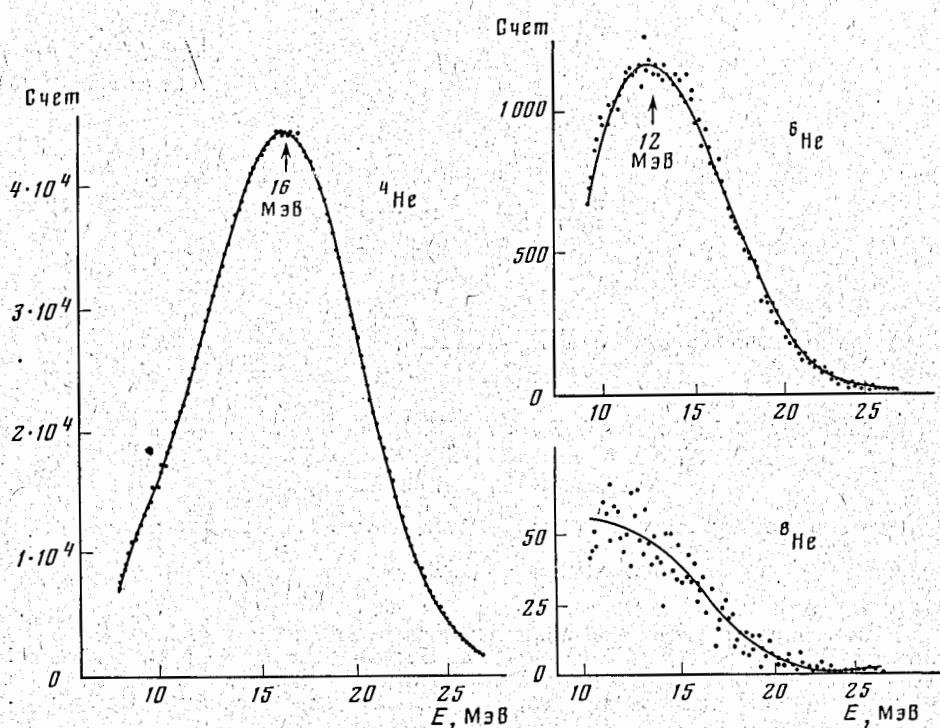


Рис. 1. Энергетические спектры изотопов гелия

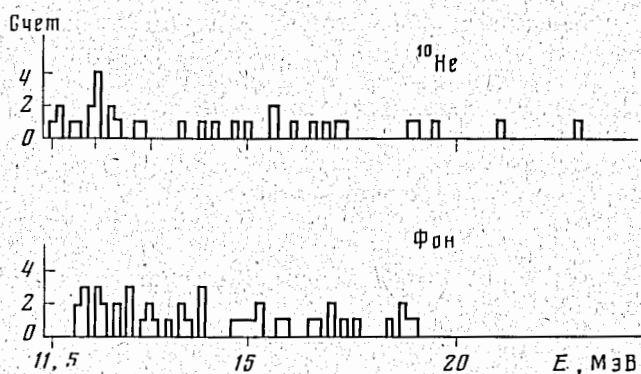


Рис. 2. Энергетическое распределение событий в области гипербола ^{10}He и фон, относящийся к отсчетам в области гипербола ^{12}He

на 1,3 МэВ [9], а не на 3–4 МэВ, как предсказывали различные полуэмпирические формулы масс.

Нами предприняты поиски ^{10}He при спонтанном делении ^{252}Cf в условиях, близких к указанным в статье [8], причем пороги регистрации тяжелых изотопов гелия установлены еще ниже.

В эксперименте использовался источник ^{252}Cf весом 10 мкг, нанесенный на толстую подложку из тантала. Диаметр активного слоя источника 6 мм.

Регистрация изотопов гелия проводилась с помощью $(\Delta E-E)$ -методики. Источник и телескоп счетчиков помещались в вакуумную камеру, и расстояние между ними можно было менять без нарушения вакуума, в измерениях оно составляло 30 мм. Между источником и телескопом устанавливалась фольга из Al толщиной 32 мкм, в которой полностью тормозились осколки деления и α -частицы с энергией 6,11 МэВ, испускаемые ^{252}Cf .

Телескоп счетчиков состоял из 17 мкм полупроводникового ΔE -детек-

тора и E -детектора толщиной 450 мкм. Диаметр входной диафрагмы перед ΔE -детектором был 5 мм, перед E -счетчиком — 8 мм. Для уменьшения засева спектра от случайных совпадений в цепи трактов ΔE - и E -детекторов были включены режекторы палоченных импульсов.

Сигналы с ΔE - и E -счетчиков после усиления и отбора по совпадениям поступали на амплитудно-цифровые преобразователи (АЦП) и записывались в ЭВМ ЕС-1010. Из кодов АЦП формировался двумерный спектр с координатами ΔE и E . Программируя отдельные участки двумерного спектра, можно получить соответствующие им одномерные спектры. Из систематики поведения энергетических спектров изотопов гелия [6, 8] следует, что спектр ^{10}He должен иметь максимум при энергии 7 МэВ. Поэтому эффективность регистрации ионов ^{10}He сильно зависит от порога детектирующей системы, который определяется толщиной фольги из Al перед телескопом и толщиной ΔE -детектора. В нашем эксперименте порог составлял 11,5 МэВ, что ниже, чем во всех предыдущих работах с ^{252}Cf . Отладка (ΔE — E)-методики, отбор полупроводниковых счетчиков и наладка схем режекции проводились на пучке ионов ^7Li с энергией 30 МэВ, ускоренных на циклотроне ИАЭ им. И. В. Курчатова.

Основная серия измерений с источником калифорния получена за 208 ч, в результате набраны $2,7 \cdot 10^6$ α -частиц, $6,2 \cdot 10^4$ ядер ^6He , $2,3 \cdot 10^3$ ядер ^8He . Их энергетические спектры приведены на рис. 1. Форма спектров на этих рисунках и соотношение выходов ядер ^4He к ^6He и ^8He хорошо воспроизводят результаты других измерений [6–8].

В двумерном спектре в области, расположенной между гиперболами ^8He и ^6Li наблюдается приблизительно равномерное распределение событий. Если здесь попытаться выделить гиперболы, соответствующие гипотетическим ядрам ^{10}He , ^{12}He , ^{14}He , то в них будет соответственно 33, 59, 46 событий. Данные спектры показаны на рис. 2, где приводятся энергетическое распределение событий в области гиперболы ^{10}He (а) и фон, относящийся к отсчетам в области гиперболы ^{12}He (б).

Из наших измерений следует, что в области, соответствующей гиперболе ^{10}He :

- 1) не наблюдается превышения числа событий по сравнению с соседними,
- 2) энергетическое распределение событий на рис. 2а не идентично спектрам изотопов гелия, приведенным на рис. 1,
- 3) в области гиперболы ^{10}He не отмечено никакого увеличения числа отсчетов к «центру» гиперболы, как это имеет место для всех реально наблюдаемых частиц.

Все это позволяет сделать вывод, что наблюдаемые нами события, которые можно было бы отнести к образованию ядер ^{10}He , являются фоном. Оценка показывает, что 5–8 событий из полученных 33 можно отнести за счет случайных $\alpha\alpha$ -совпадений. Остальные, по-видимому, связаны с неполным сбором заряда в ΔE -детекторе. Это подтверждается контрольными измерениями с α -источником ^{228}Th , а также анализом событий в области между гиперболами Li и Be.

Следовательно, мы не наблюдали образования ядер ^{10}He в спонтанном делении ^{252}Cf . В наших измерениях получена верхняя граница выхода $Y(^{10}\text{He})$ по отношению к выходу любого изотопа гелия, например $Y(^8\text{He})$. Она составляет $Y(^{10}\text{He})/Y(^8\text{He}) \leq 4 \cdot 10^{-3}$, что в 4 раза меньше, чем величина, полученная в [8]. Таким образом, данный эксперимент подтвердил выводы работ [2–6] о ядерной нестабильности изотопа ^{10}He .

3. Поиски изотопа ^7H

Для изотопов водорода установлено, что ядра ^4H и ^5H нестабильны относительно испускания нейтронов и что в настоящее время тритий является самым тяжелым ядерно-стабильным изотопом водорода. Тем не менее после определения энергии связи ядра ^6He были сделаны полуэмпирические оценки массы нуклида ^7H [10, 11], из которых следует, что такое ядро может быть нуклоно-стабильным. Экспериментальные поиски ^7H

ограничиваются одной работой [12], в которой в реакции двойной перезарядки π -мезонов изотоп ${}^7\text{H}$ не был найден. Необходимо отметить, что авторам в контрольном эксперименте не удалось обнаружить образования нуклоно-стабильного ядра ${}^{12}\text{Be}$.

Экспериментально показано, что в тройном делении ${}^{252}\text{Cf}$ наблюдается вылет ядерно-стабильных изотопов водорода и гелия. Поэтому если нуклид ${}^7\text{H}$ стабилен относительно распада на нейтроны, то следует ожидать его образование при делении ${}^{252}\text{Cf}$. Полагая, что энергии связи ядер ${}^7\text{H}$ и ${}^8\text{He}$ близки по величине, а волновые функции подобны (4 нейтрона в $p_{3/2}$ -оболочке и остов), на основании известного соотношения между выходами изотопов гелия $Y({}^8\text{He})$, $Y({}^4\text{He})$ и тритонов $Y(t)$ [6] можно получить оценку выхода нуклида ${}^7\text{H}$: $Y({}^7\text{H}) \simeq Y(t)Y({}^8\text{He})/Y({}^4\text{He}) = Y(t) \cdot 10^{-3}$.

Нами проведен поиск ядерно-стабильного изотопа ${}^7\text{H}$ в тройном делении ${}^{252}\text{Cf}$. Для регистрации заряженных частиц стандартная методика ($\Delta E-E$) была модифицирована. Телескоп счетчиков состоял из двух тонких ΔE -полупроводниковых детекторов толщиной 18 мкм и 21 мкм и E -детектора толщиной 500 мкм. При этом порог регистрации ядер ${}^7\text{H}$ составлял 4,9 МэВ. Перед ΔE_1 -, ΔE_2 - и E -детекторами устанавливались диафрагмы диаметрами соответственно 5, 8, 15 мм. Расстояние между телескопом и источником 30 мм. Сигналы с ΔE_1 -, ΔE_2 - и E -счетчиков после отбора по быстро-медленным совпадениям поступали на АЦП и записывались в ЭВМ ЕС-1010.

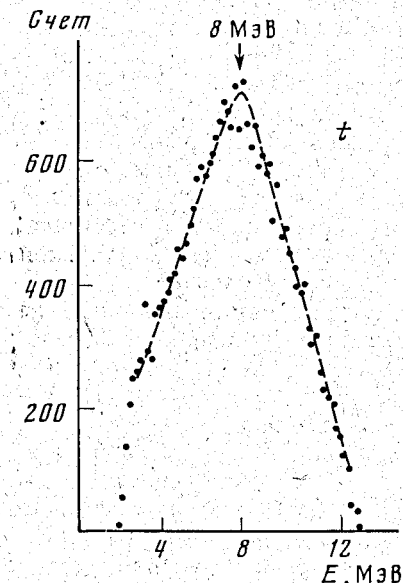


Рис. 3. Энергетический спектр тритонов из спонтанного деления ${}^{252}\text{Cf}$

Разрешающее время схемы быстрых совпадений $\tau = 5 \cdot 10^{-8}$ с. Из кодов АЦП формировались два двумерных спектра с координатами (ΔE_1-E) и (ΔE_2-E) . События отбирались по совпадению программ в двумерных спектрах, и это значительно снижало фон между гиперболами трития и α -частиц, обусловленный неполным сбором заряда в ΔE -детекторах, статистическими флуктуациями и т. д.

За время измерений с источником ${}^{252}\text{Cf}$ было зарегистрировано $2,6 \cdot 10^4$ ядер трития. Их энергетический спектр приведен на рис. 3. Характер спектра и выход тритонов согласуется с результатами работы [6]. На основании вышеприведенной оценки выхода нуклида ${}^7\text{H}$ на $2,6 \cdot 10^4$ тритонов следовало ожидать 26 событий, относящихся к вылету ядра ${}^7\text{H}$. Однако в области, соответствующей гиперболе ${}^7\text{H}$, зарегистрировано всего пять отсчетов. Учитывая, что события в двумерном спектре между гиперболами α -частиц и трития распределены приблизительно равномерно (гипербола ${}^7\text{H}$ ничем не выделена), эти пять отсчетов следует считать фоновым.

Таким образом, в спонтанном делении ${}^{252}\text{Cf}$ не обнаружено испускания ядер ${}^7\text{H}$. Верхняя граница выхода изотопа ${}^7\text{H}$ по отношению к выходу тритонов $Y({}^7\text{H})/Y(t) \simeq 1 \cdot 10^{-4}$.

Отсутствие вылета ${}^7\text{H}$ при тройном делении ${}^{252}\text{Cf}$ указывает на ядерную нестабильность этого изотопа водорода.

В заключение авторы выражают благодарность Швецову И. К. за предоставленный источник ${}^{252}\text{Cf}$, Ганзе Е. А. и Ложкину О. В. за изготовление тонких полупроводниковых детекторов, Гольдбергу В. З. за полезные обсуждения и ценные замечания.

1. Волков В. В. ЭЧАЯ, 1971, 2, 287.
2. Poskanzer A. M. et al. Phys. Rev. Lett., 1966, 17, 1271.
3. Aztikh A. G. et al. Nucl. Phys., 1971, A168, 321.
4. Воробьев А. А. и др. Препринт ФТИ-232, Л., 1969.
5. Богачин В. И. и др. ЯФ, 1980, 32, 27.
6. Cospers S. W., Cerny J., Gatti R. G. Phys. Rev., 1967, 154, 1193.
7. Whetstone S. L. Jr., Thomas T. D. Phys. Rev., 1967, 154, 1174.
8. Байер Р., Длоугы З. и др. Матер. 5-й Всесоюз. конф. по нейтронной физике, Киев, 15-19 сентября 1980. М.: ЦНИИатоминформ, 1980, ч. 3, с. 20.
9. Kamal Seth K. et al. Proc. Intern. Conf. on Nucl. Phys. Berkeley, California, 24-30 Aug., 1980, p. 164.
10. Базъ А. И., Гольданский В. И., Гольдберг В. З., Зельдович Я. Б. Легкие и промежуточные ядра вблизи границ нуклонной стабильности. М.: Наука, 1972, с. 48.
11. Ogloblin A. A. GSI-Report, 79-12.
12. Gilly L. et al. Phys. Lett., 1965, 19, 335.

MEASUREMENT OF SPECTRA OF LIGHT NUCLEI FROM TRIPLE FISSION OF ^{252}Cf AND SEARCH FOR ISOTOPES ^{10}He AND ^7H

ALEKSANDROV D. V., GLUKHOV Yu. A., DEMYANOVA A. S., DUKHANOV V. I.,
MAZUROV I. B., NOVATSKY B. G., OGOBLIN A. A., SAKUTA S. B., STEPANOV D. N.

Energy spectra of isotopes ^4He , ^6He , ^8He and ^3H from spontaneous fission of ^{252}Cf were measured by means of the $(\Delta E-E)$ method. A search for the nuclides ^{10}He and ^7H was performed and the upper limits to their yields are established. Basing on the experimental results a conclusion is drawn that the nuclei ^{10}He and ^7H are instable with respect to decays into nucleons.