

ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ПОИСКУ ЯДЕР ^{10}Ne В РЕАКЦИЯХ С ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ

Ю.Ц.Оганесян, Ю.Э.Пенионжжевич, Э.Герлик, Р.Калпакчиева,
Т.Павлат, К.Борча, А.В.Белозеров, Ю.П.Харитонов,
С.П.Третьякова, В.Г.Субботин, С.М.Лукьянов,
Н.В.Пронин, А.А.Быков

Была определена верхняя граница образования ядра ^{10}Ne в реакции $^{232}\text{Th} + ^{11}\text{B}$ (89 МэВ), равная $5 \cdot 10^{-7}$ мб/ср.

Большой прогресс, произошедший в последнее время в области ускорительной техники и методики эксперимента, позволил существенно продвинуться к границам нуклонной устойчивости, особенно в области легких ядер $^{1-4}$. Одним из наиболее эффективных методов получения ядер, удаленных от линии β -стабильности, явились реакции с тяжелыми ионами 4 . Следует отметить, что все теоретические оценки и экстраполяции на основе экспериментальных данных дают различные значения масс ядер в области даже легких ядер и соответственно определяют неоднозначно границу нуклонной устойчивости $^{5-8}$. Ответ на эти вопросы может дать только эксперимент. Однако получение ядер вблизи границы нуклонной устойчивости связано с большими методическими сложностями, возникающими вследствие малого сечения их образования ($10^{-31} - 10^{-34}$ см 2) и времени их жизни, достигающим величины $\sim 10^{-3}$ сек. Особые требования предъявляются к методу синтеза таких ядер в связи с необходимостью их получения с малой энергией возбуждения из-за слабой связи нуклонов в этих ядрах. Одним из принципиальных вопросов в этой проблеме является определение стабильности нуклида ^{10}Ne . Этот вопрос уже более 15 лет исследуется теоретиками и экспериментаторами.

Экспериментальные поиски ядер ^{10}Ne в различных реакциях $^{1,3, 9-13}$ дали лишь верхние границы сечения его образования. Определенным этапом в проблеме определения стабильности ^{10}Ne явились эксперименты по определению массы нестабильного ядра ^9Ne 14 . На основании этих экспериментов был определен дефект массы ^{10}Ne (49,40 МэВ) и были сделаны оценки, что ^{10}Ne стабилен по отношению к испусканию одного нейтрона ($B_n = +0,93$ МэВ), но нестабилен по отношению к испусканию двух нейтронов ($B_{2n} = -1,66$ МэВ). Эти оценки, однако, имеют неопределенность не менее 1 МэВ и поэтому нельзя, в принципе, исключить стабильность ^{10}Ne и по отношению распада на $^8\text{He} + 2n$.

Настоящая работа была предпринята с целью поисков ядер ^{10}Ne в различных реакциях с тяжелыми ионами с высокочувствительной установкой, регистрирующей образование легких частиц вплоть до сечений $\sim 5 \cdot 10^{-35}$ см 2 /ср.

Намк исследовался выход всех известных изотопов He, образующихся в ядерных взаимодействиях ускоренных ионов $^{10,11}\text{B}$ и ^{22}Ne с мишенями ест $^{\text{Ti}}$ и ^{232}Th в энергетическом диапазоне от 8 до 10 МэВ/нуклон. Эксперименты проводились на ускорителе тяжелых ионов У-300 ЛЯР ОИЯИ. Для изучения энергетических спектров и сечений образования этих ядер под углами 0 и 20° использовался магнитный спектрометр МСП-144, в фокальной плоскости которого располагался телескоп из ΔE - E полупроводниковых детекторов. Полная эффективность регистрации спектрометра с одним телескопом, состоящим из детекторов с диаметром 17 мм, составляла $\sim 5 \cdot 10^{-4}$ ср. Толщина мишени во всех опытах была 2,5 - 7 мг/см 2 , ток пучков ионов на мишени 3 - 7 мкА.

На рис. 1 представлены энергетические спектры изотопов He для реакции $^{232}\text{Th} + ^{11}\text{B}$. Сечение образования изотопа ^8He оказалось наибольшим в этой реакции поэтому она и была выбрана для поиска ядер ^{10}Ne . Экстраполяция данных по сечениям образования легких изотопов He (рис. 2) показала, что сечение образования ядер ^{10}Ne в реакции $^{232}\text{Th} + ^{11}\text{B}$ должно составлять $\sim 5 \cdot 10^{-3}$ мб/ср.

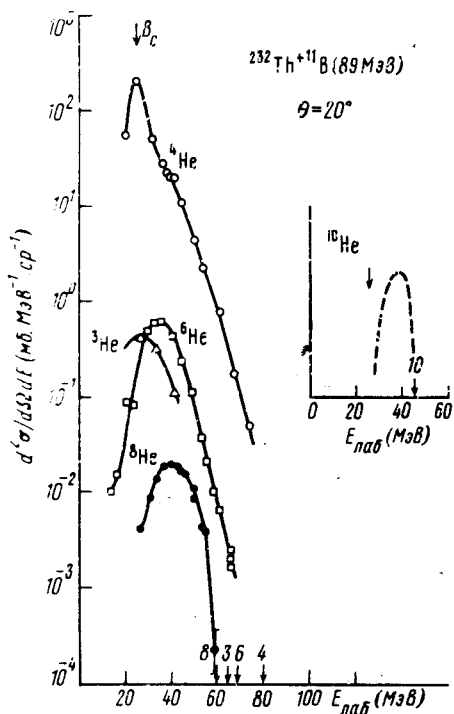


Рис. 1

Рис. 1. Энергетические спектры изотопов He, измеренные в реакции $^{232}\text{Th} + ^{11}\text{B}$ (89 МэВ). Стрелками на оси $E_{\text{лаб}}$ указаны максимально возможные энергии разных изотопов, рассчитанные в предположении о двухтелном механизме реакции. Пунктиром изображена предполагаемая форма спектра ^{10}He

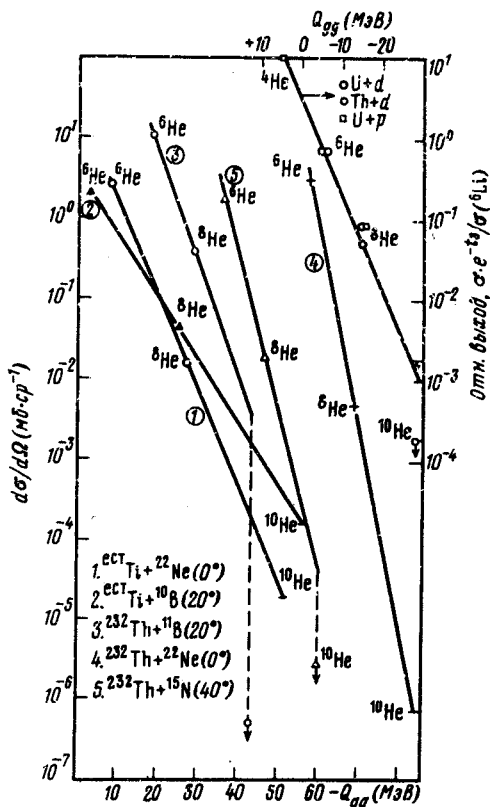


Рис. 2

Рис. 2. Зависимость выходов гелиевых изотопов от Q реакции ($Q = (M_1 + M_2) - (M_3 + M_4)$) для реакций с дейтронами и протонами ^3N , тяжелыми ионами ^{15}N , ^{12}C , ^{22}Ne , ^{16}O , ^{10}B , ^{11}B (настоящая работа)

Для регистрации ядер ^{10}He нами была использована система из 8 полупроводниковых телескопов и диэлектрический детектор ядерных частиц типа CR-39¹⁵, расположенные в фокальной плоскости магнитного спектрометра. При данном магнитном поле ими перекрывался энергетический диапазон для ^{10}He от 26 до 40 МэВ. Более подробно использованная нами методика измерения и обработки экспериментальных данных описана в работе¹⁶.

Выбор этого энергетического интервала регистрации ядер ^{10}He объясняется необходимостью перекрытия интервала энергии, заключенного между энергией, соответствующей выходному кулоновскому барьеру и энергией, соответствующей кинематическому пределу, рассчитанному в предположении о двухтелном механизме реакции¹⁷. Положение максимума в энергетическом спектре ^{10}He определялось экстраполяцией наиболее вероятных энергий спектров ^3He , ^4He , ^6He , ^8He , образованных в этой же реакции $^{232}\text{Th} + ^{11}\text{B}$. Максимальный выход ядер ожидался при энергии 40 МэВ.

Общее количество ядер ^8He , зарегистрированных в нашем эксперименте при интегральном потоке ионов $^{11}\text{B} \sim 7,5 \cdot 10^{17}$ составляло $\sim 1,5 \cdot 10^6$. В то же время мы не обнаружили ни одного события образования ядер ^{10}He .

Полученная таким образом верхняя граница образования ядер ^{10}He в реакции $^{232}\text{Th} + ^{11}\text{B}$ составляла $5 \cdot 10^{-7}$ мб/ср (см. рис. 2).

Выход ^{10}He оказался намного меньше ожидаемого, полученного путем экстраполяции сечений образования легких изотопов He (рис. 2). Этот факт по-видимому свидетельствует о нестабильности ядер ^{10}He . Однако данное утверждение не является абсолютным. Нельзя полностью исключить возможность того, что вследствие слабой устойчивости, сечение обра-

зования ядер ^{10}Ne сильно подавлено в силу того, что часть реализуемой в реакции энергии может перейти во внутреннее возбуждение продуктов реакции.

Нами были проведены модельные эксперименты, в которых изучались сечения образования слабосвязанных ядер ^{11}Li и ^{14}Be . Сечение образования ^{11}Li ($B_{2n} = 0,16 \text{ МэВ}^{18}$), образующегося в реакции $^{232}\text{Th} + ^{11}\text{B}$ при энергии ионов бора 89 МэВ составляло $2,8 \cdot 10^{-3} \text{ мб/ср}$. Измеренный нами также выход ядер ^{14}Be ($B_{2n} = 0,21 \text{ МэВ}^{18}$), образующихся в реакции $^{232}\text{Th} + ^{15}\text{N}$ при энергии ионов азота 145 МэВ составлял $4 \cdot 10^{-5} \text{ мб/ср}$. Таким образом экспериментально измеренное сечение образования в этих реакциях изотопов ^{11}Li и ^{14}Be оказались в несколько раз ниже сечений ожидаемых из экстраполяции по выходам остальных изотопов лития и бериллия $^{19}, ^{20}$. Отсюда следует, что предсказания сечений образования слабосвязанных ядер путем экстраполяции данных по остальным изотопам являются ненадежными.

Для однозначного ответа на вопрос о стабильности ядер ^{10}Ne является необходимым их получение в основном состоянии. С этой целью на наш взгляд, наиболее эффективной может явиться реакция двойной перезарядки $^{14}\text{C} (^{10}\text{Be}, ^{10}\text{He}) ^{14}\text{O}$. Такие реакции в последнее время начинают использоваться для возбуждения гаммов-теллеровских резонансов и их сечение может составлять 10 мкб/ср^{21} . Эти реакции приводят к образованию конечных продуктов в основном состоянии. Причем в случае ядерной нестабильности ^{10}Ne можно будет с достаточной точностью определить его массу из спектра кинетических энергий ^{14}O , измеренных в заданных кинематических условиях и, тем самым сделать окончательные выводы о его устойчивости. Необходимо однако заметить, что подобный эксперимент связан с получением пучка экзотических ионов ^{10}Be и поэтому требует особой подготовки.

В заключение авторы выражают признательность академику Г.Н.Флерову за постановку задачи и ценные советы в процессе ее выполнения. Мы благодарны также В.Ф.Кушнируку и А.В.Рыхлюк за помощь в изготовлении полупроводниковых детекторов, З.Д.Покровской за помощь в обработке экспериментальных данных, а также коллективу эксплуатации циклотрона У-300 за обеспечение эффективной работы ускорителя.

Литература

1. Poskanzer A.M. et al. Phys. Rev. Lett., 1966, 17, 1271. Poskanzer A.M. et al. Phys. Lett., 1968, 27B, 414.
2. Bowman J.D. et al. Phys. Rev. Lett., 1973, 31, 614.
3. Безногих Г.Г. и др. Письма в ЖЭТФ, 1979, 30, 349.
4. Volkov V.V. Proc. Int. Conf. Nucl. Physics, Munich, 1973, v. 2, p. 279.
5. Базь А.И. и др. ЯФ, 1969, 9, 1184.
6. Garvey G.T., Kelson I. Phys. Rev. Lett., 1966, 16, 197.
7. Виноградов Б.И., Немировски П.Е. ЯФ, 1969, 10, 505.
8. Воробьев А.А. и др. Препринт ФТИ-232, Ленинград, 1969.
9. Whetstone S.L. Jr., Thomas T.D. Phys. Rev. 1967, 154, 1174.
10. Cospser S.W. et al. Phys. Rev. 1967, 154, 1193.
11. Vorobiev A.A. et al. Phys. Lett., 1969, 30B, 332.
12. Artukh A.G. et al. Nucl. Phys. 1971, A168, 321.
13. Байер Р. и др. В сб. "Нейтронная физика", ч. 3, Киев, 1980, стр. 20.
14. Nann H. Atomic and Fundamental Constants, v.6, p. 51, Plenum Press, New York and London, 1979.
15. Cartwright B.C. et al. Nucl. Instr. Meth., 1978, 153, 457.
16. Оганесян Ю.Ц. и др. ОИЯИ P7-82-302, Дубна 1982.
17. Borcea C. et al. JINR E7-82-46, Dubna, 1982.
18. Atomic Data and Nuclear Data Tables 1977, 19, 175.
19. Volkov V.V. Nukleonika, 1975, 21, no. 1/15, 53.
20. Artukh A.G. et al. JINR E7-8298, Dubna, 1974.
21. Drake D.M. et al. Phys. Rev. Lett., 1980, 45, 1765.