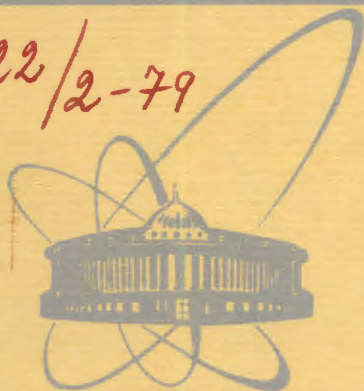


3122/2-79



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА

В/III-79

7 - 12313

A-867

А.Г.Артюх

ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ И ИЗУЧЕНИЯ
СВОЙСТВ ЛЕГКИХ ЯДЕР
С БОЛЬШИМ ИЗБЫТКОМ НЕЙТРОНОВ
В РЕАКЦИЯХ ПЕРЕДАЧИ НА ПУЧКАХ У-400

1979

7 - 12313

А.Г.Артюх

ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ И ИЗУЧЕНИЯ
СВОЙСТВ ЛЕГКИХ ЯДЕР
С БОЛЬШИМ ИЗБЫТКОМ НЕЙТРОНОВ
В РЕАКЦИЯХ ПЕРЕДАЧИ НА ПУЧКАХ У-400

*Направлено на Рабочее совещание по подготовке
экспериментов на У-400 /Дубна, 1979/*

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Артюх А.Г.

7 - 12313

Возможности получения и изучения свойств легких ядер с большим избытком нейтронов в реакциях передачи на пучках У-400

Обсуждается проблема нуклонной устойчивости и свойства легких ядер с большим избытком нейтронов. На основании $Q_{g.g.}$ -систематики предсказаны выходы тяжелых изотопов С и О в многонуклонных реакциях передачи. Отмечаются возможности в использовании вторичных пучков нейтроноизбыточных ядер для целей синтеза тяжелых изотопов трансфермиевых элементов.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований, Дубна 1979

Artukh A.G.

7 - 12313

The Possible Production and Investigation of Very Neutron-Rich Light Nuclei in Transfer Reactions on U-400 Beams

The nucleon stability and properties of very neutron-rich light nuclei are discussed. The yields of carbon and oxygen heavy isotopes in multinucleon transfer reactions are predicted on the basis of the $Q_{g.g.}$ -systematics. The possibilities of using the secondary beams of neutron-rich nuclei to synthesize the heavy isotopes of transfermium elements are proposed.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

Интерес к изучению свойств легких ядер, удаленных от долины β -стабильности, к проблеме границы нуклонной устойчивости этих ядер обусловлен возможностью получения важной информации по ряду фундаментальных вопросов ядерной физики. Значительный интерес вызывает проверка области применимости изотопической инвариантности ядерных сил и соотношений, базирующихся на этой гипотезе, проверка роли различных членов в нуклон-нуклонном потенциале, описывающем ядра с экстремальным соотношением N/Z ^{1,2/}. Изучая экспериментально свойства ядер, предельно перегруженных нейтронами, мы в известной мере приближаемся к решению проблемы о существовании связанного состояния системы нейтронов с $A=N$, т.е. нейтронных капель ядерных размеров и "нормальной" ядерной плотности, устойчивость которых обеспечивается исключительно ядерными силами. Экспериментальной проверки требует также гипотеза о существовании второй области ядерной устойчивости в виде "острова" сверхтяжелых изотопов легких элементов, который был предсказан авторами работы^{3/} в результате обширного анализа наборов изотопически-инвариантных потенциалов нуклон-нуклонного взаимодействия. Кроме того, знание свойств ядер с большими значениями N/Z позволит из множества эмпирических или полуэмпирических формул масс для легких ядер выбрать наиболее реалистический вариант. Изучение схем распада сильно нейтроноизбыточных ядер с энергией связи нуклонов в несколько десятков $кэВ$ /например, $E_n(^{12}C) \sim 20$ $кэВ$ /, измерение среднеквадратичных радиусов распределения их нейтронной и протонной компонент позволит извлечь ценную информацию о поведении ядерной материи в столь экстремальных условиях.

В настоящее время теория не дает категорического ответа на вопрос о том, могут ли существовать ядра с очень большим избытком нейтронов и где конкретно находится граница нуклонной стабильности для этих ядер. Прогнозирование свойств ядер со значительным избытком нейтронов, как правило, осуществляется различными методами экстраполяции свойств ядер, расположенных в долине β -стабильности или вблизи нее. В результате столь далеких экстраполяций свойства новых ядер, а также предсказания положения границы области нуклонной устойчивости содержат большие неоднозначности. Поэтому в ядерной физике экспериментальным методам получения и изучения свойств легких ядер с большим избытком нейтронов отводится решающее значение.

Из всех методов получения ядер с большими значениями N/Z в настоящее время наиболее перспективными являются многонуклонные реакции передачи на тяжелых ионах^{4/}. Практическая значимость таких реакций как метода получения нейтроноизбыточных ядер существенно возросла в результате установленных в работе^{5/} регулярностей в сечениях образования изотопов / $Q_{g.g.}$ -систематика, рис. 1/. Указанная систематика позволяет оценивать сечения образования еще неизвестных нейтроноизбыточных изотопов легких элементов. Особенно важна роль установленной систематики в экспериментах по определению границы нуклонной стабильности ядер.

Что касается методов идентификации и изучения свойств нейтроноизбыточных ядер, времена жизни которых достигают миллисекунд, то наиболее эффективными являются либо масс-сепараторы, работающие "в линии" с ускорителем, либо же методы идентификации продуктов "в пучке" тяжелых ионов, представляющие собой комбинацию магнитных и электростатических анализаторов с техникой измерения времени пролета и методом $\Delta E, E$ ^{6,7/}.

В последние годы получено значительное количество новых тяжелых изотопов легких элементов и для некоторых из них изучены схемы распада^{12/}. На рис. 2 показана диаграмма изотопов с $Z \leq 22$. Из рисунка видно, что для элементов с $Z = 2-5$, экспериментаторы вышли на предсказанную теоретиками границу, а для элементов с $Z = 6-8$ приблизились к ней вплотную. Анализ имеющихся данных для элементов с $Z \leq 5$ показывает,

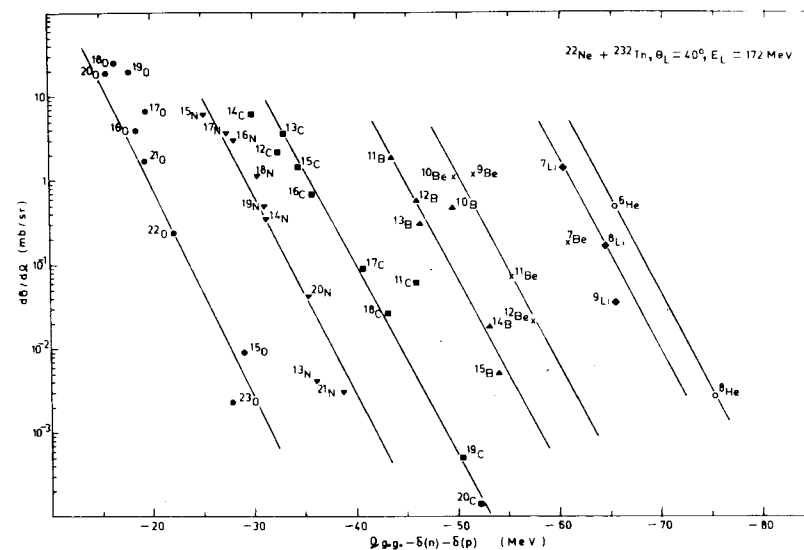


Рис. 1. Дифференциальные сечения образования изотопов с $2 \leq Z \leq 8$ в зависимости от $Q_{g.g.} - \delta(n) - \delta(p)$ для системы (Ne, Th). Энергия ионов ^{22}Ne $E_L = 174$ МэВ. Угол вылета продуктов $\theta_L = 40^\circ$.

$$Q_{g.g.} = (M_1 + M_2) - (M_3 + M_4); \quad \delta(n) = [E_{cb}(N, Z) - E_{cb}(N-1, Z)] - [E_{cb}(N-1, Z) - E_{cb}(N-2, Z)];$$

$$\delta(p) = [E_{cb}(N, Z) - E_{cb}(N, Z-1)] - [E_{cb}(N, Z-1) - E_{cb}(N, Z-2)].$$

что по мере достижения граничной линии нуклонной устойчивости наблюдаются провалы в стабильности тяжелых изотопов с нечетным числом нейтронов. На границе ядерной устойчивости находятся только ядра с четным числом нейтронов. Этот экспериментальный факт демонстрирует не только определяющую роль эффектов спаривания нейтронов в устойчивости ядер с предельными значениями N/Z , но и требует от исследователей надежного доказательства неустойчивости по крайней мере нескольких соседних сверхтяжелых изотопов, для того чтобы с определенной достоверностью указать местоположение границы нуклонной устойчивости в области легких ядер с большим избытком нейтронов. Таким образом, дальнейшим шагом в изучении области нейтроноизбыточных ядер легких элементов /с

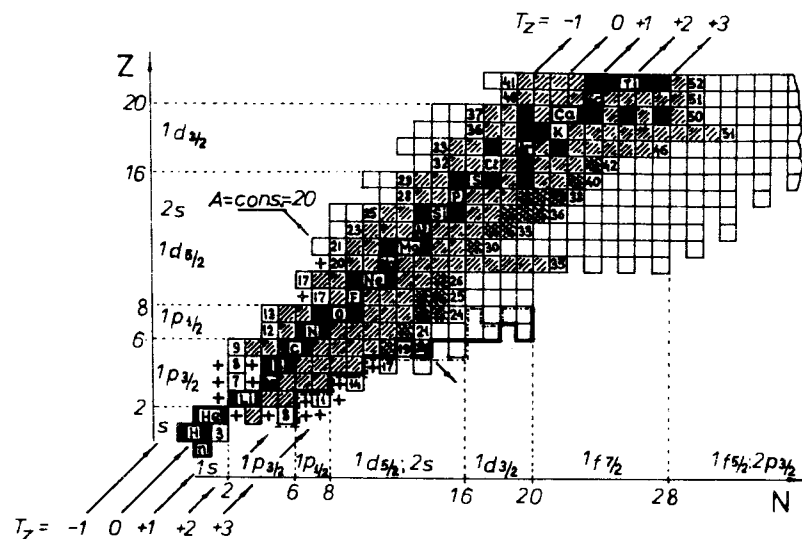


Рис. 2. Диаграмма изотопов легких элементов с $Z \leq 22$. Черными квадратами с символами химических элементов указаны стабильные изотопы. Заштрихованными - β -нестабильные изотопы, полученные экспериментально. Цифрами в светлых квадратах - последние известные β -нестабильные изотопы, для которых стабильность относительно испускания нуклонов доказана экспериментально. Квадратами с двойной штриховкой - новые нейтроноизбыточные изотопы, полученные в реакциях с тяжелыми ионами^{4/}. Крестиками +/- изотопы, для которых нуклонная нестабильность доказана экспериментально. Штрихпунктирной линией в области нейтроноизбыточных изотопов отмечена граница нуклонной стабильности, предсказываемая расчетами Немировского^{10/}. Широкой сплошной линией - граница по расчетам Гарвея^{8/}. Светлыми квадратами - изотопы, предсказываемые расчетами, базирующимися на методе Гарвея^{9/}.

$Z \leq 18$ / была бы, во-первых, попытка экспериментальным путем проверить устойчивость или неустойчивость ядер, лежащих вблизи или за пределами предсказываемой теорией границы нуклонной устойчивости и, во-вторых, изучить свойства распада известных ядерностабильных изотопов с максимальным значением N/Z .

Высокие интенсивности пучков на У-400 и большой выбор ускоряемых частиц представляют экспериментаторам широкие

возможности для планомерного изучения не только границы нуклонной устойчивости легких элементов, но и получать в достаточном количестве известные нейтроноизбыточные ядра для измерения масс и изучения свойств их распада.

На первом этапе исследований целесообразно попытаться получить сверхтяжелые ядра $^{21,22}\text{C}$ и ^{25}O , относительно устойчивости которых имеются противоречивые предсказания теории^{8-10/}. Анализ экспериментальных данных показывает, что для получения этих ядер наиболее перспективными комбинациями взаимодействующих ядер являются элементы с $Z \geq 90$ /Th, U и т.д./ и в качестве ускоряемых ионов более тяжелые стабильные изотопы элементов кислорода и неона / ^{18}O и ^{22}Ne /. Так, оценки по $Q_{g.g.}$ -систематике показывают, что при облучении ^{232}Th толщиной 10 мг/см^2 ионами ^{22}Ne с энергией 174 МэВ и интенсивностью порядка 100 мкА следует ожидать в 1 час ^{25}O - 0,1 шт., ^{21}C - 5 шт., ^{22}C - 0,5 шт., ^{19}B - 0,02 шт. Оценки сделаны для угла вылета 40° продуктов, регистрируемых в телесном угле порядка 10^{-3} ср детектором площадью в несколько см^2 , который размещается в фокальной плоскости магнитного анализатора^{6/}.

В этих же экспериментальных условиях можно будет получать известные нуклоностабильные ядра в следующих количествах: ^{22}O , ^6He порядка 10^6 ядер; ^{20}N , ^{18}C , ^{12}Be - 10^5 ; ^{23}O , $^{21,22}\text{N}$, ^{15}B , ^8He - 10^4 ; ^{24}O , ^{23}N , ^{19}C , ^{11}Li - 10^3 ; ^{20}C - 10^2 ; ^{17}B , ^{14}Be - 10. Все эти ядра испытывают β -распад с периодом полураспада $T_{1/2} > 10^{-3}$ с, энергией β -частиц в несколько десятков МэВ и являются излучателями запаздывающих нейтронов и γ -квантов. Столь значительный выход тяжелых изотопов легких элементов позволит начать систематические исследования схем распада ядер с высоким изотопспином, измерять их массы, время жизни относительно β -распада, спектр энергий β -частиц, интенсивностей переходов при β -распаде, спектр энергий γ -квантов и запаздывающих нейтронов, вероятности эмиссии нейтронов, а также квантовые числа уровней при высоких энергиях возбуждения. Трехчастичный характер распада с испусканием γ -квантов, нейтронов и энергичных β -частиц можно эффективно использовать для подавления фона, применяя корреляционную методику для изучения свойств распада этих ядер. Следует отметить, что приведенный

выход нейтроноизбыточных ядер в таком широком диапазоне элементов получен для конкретной комбинации (^{22}Ne , ^{232}Th). Выход тяжелых изотопов одного или двух элементов, представляющих интерес для изучения характеристик распада, можно существенно повысить /на несколько порядков/ за счет специального выбора бомбардирующей частицы. Так, тяжелые изотопы He , Li выгоднее получать в комбинации (^{11}B , ^{232}Th), изотопы Be , B в (^{15}N , ^{232}Th), ядра C , N в (^{18}O , ^{232}Th) и т.д., поскольку для этих снарядов требуется менее глубокая перестройка исходных ядер (за счет меньших величин $Q_{\text{в.г.}} - \delta(n) - \delta(p)$) для получения изотопов указанных элементов.

В заключение отметим, что высокий выход нейтроноизбыточных ядер на пучках сильноточных ускорителей типа У-400 открывает благоприятные возможности для синтеза новых тяжелых изотопов трансфермиевых элементов. Использование нейтроноизбыточных ядер в качестве пучков бомбардирующих частиц позволит синтезировать изотопы тяжелых и сверхтяжелых элементов, лежащие вблизи или в самой долине β -стабильности, которые другими экспериментальными методами невозможно получить.

Интенсивные пучки ядер с большим избытком нейтронов и разным соотношением N/Z можно также использовать в экспериментах по упругому рассеянию с целью получения информации о степени деформируемости легких ядер и параметрах потенциалов взаимодействия по мере увеличения нейтронной компоненты ядерной материи налетающих частиц.

Автор глубоко признателен В.В.Волкову, Г.Ф.Гридневу, В.Л.Михееву и А.Н.Мезенцеву за полезные дискуссии и советы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Базь А.И. и др. Легкие и промежуточные ядра вблизи границ нуклонной стабильности. "Наука", М., 1972.
2. Proc. 3rd Int. Conf. on Nuclei Far from Stability. CERN 76-13, 1976.
3. Baz A.I., Bragin V.N. Phys. Lett., 1972, 39B, p.599.
4. Volkov V.V. Proc. Int. Conf. on Reactions between Complex Nuclei, Nashville, 1974. R.L.Robinson et al. eds. North-Holland, Amsterdam, 1974, vol. 2, p.363.

5. Artukh A.G. et al. Nucl. Phys., 1971, A160, p.511.
6. Artukh A.G. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1970, 83, p.72.
7. Armbruster P. Proc. 3rd Int. Conf. on Nuclei far from Stability, Corsica, May 1976, p.3.
8. Garvey G.T., Kelson I. Phys. Rev. Lett., 1966, 16, p.197.
9. Thibault C. et al. Phys. Rev., 1974, C9, p.793.
10. Виноградов В.И., Немировский П.Э. ЯФ, 1969, 10, с.505.

Рукопись поступила в издательский отдел
20 марта 1979 года.