

**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

**P7-88-388**

**А.В.Белозеров, К.Борча, И.Винцоур,  
Г.Г.Гульбекян, М.Левитович, Нгуен Хоай Тьяу,  
Ю.Э.Пенмонжкевич, Н.К.Скобелев,  
С.Хойнацкий, А.Чаша**

**ОБРАЗОВАНИЕ ЛЕГКИХ ЯДЕР**

**В РЕАКЦИЯХ С ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ  $^{11}\text{B}$ :**

**И  $^{20}\text{Ne}$  ПРИ ЭНЕРГИЯХ 18-20 МэВ/НУКЛОН**

**1988**



## ВВЕДЕНИЕ

Синтез и изучение свойств легчайших ядер, особенно изотопов, удаленных от линии  $\beta$ -стабильности, представляют большой интерес для установления природы и вклада различных коллективных и нуклонных сил, отвечающих за ядерное взаимодействие. Существенный прогресс в изучении этих ядер был достигнут в результате использования реакций с тяжелыми ионами с энергией 7-10 МэВ/нуклон<sup>1,2/</sup>.

В работах<sup>3-5/</sup> установлено, что с увеличением энергии ионов до 20 МэВ/нуклон наблюдается рост выходов легких заряженных частиц. Эта область энергий интересна тем, что при таких энергиях коллективное поведение нуклонов во взаимодействующих ядрах конкурирует с нуклон-нуклонными взаимодействиями. Следует также отметить, что время взаимодействия сталкивающихся ядер становится сравнимым или даже короче времени релаксации внутренних степеней свободы, а это значит, что неравновесные процессы будут вносить существенный вклад в механизм реакций. Скорость тяжелых ионов становится сравнимой с такими характеристическими величинами, как скорость звука ( $E/A \sim 18$  МэВ) и скорость фермиевского движения ( $E/A \sim 30$  МэВ). Подход к этим пороговым значениям может привести к качественно новым механизмам взаимодействия.

Полученные в последнее время в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ пучки тяжелых ионов с энергией (20±25) МэВ/нуклон дают возможность провести эксперименты в этой интересной области промежуточных энергий.

В настоящей работе изучены реакции  $^{181}\text{Ta}(^{232}\text{Th}) + ^{11}\text{B}$  (20 МэВ/А) и  $^{181}\text{Ta}(^{232}\text{Th}) + ^{20}\text{Ne}$  (18 МэВ/А). Целью экспериментов являлось изучение инклюзивных энергетических, угловых и изотопных распределений легких элементов, для регистрации которых использовались широкодиапазонный магнитный анализатор и полупроводниковые  $\Delta E \times E$ -телескопы. Такие эксперименты дают интересную информацию о механизме ядерных взаимодействий, приводящих к образованию легких ядер, и являются необходимыми при выборе оптимальных реакций для синтеза новых экзотических ядер, таких как  $^9\text{Li}$ ,  $^{10}\text{Ne}$ ,  $^{13}\text{Li}$  и др. Интересно также оценить возможность использования продуктов реакций при этих энергиях в качестве вторичных пучков.

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Эксперименты проводились на ускорителе тяжелых ионов У-400 ЛЯР ОИЯИ. Схема установки представлена на рис.1. Пучок ускоренных ионов был сфокусирован и, пройдя через систему коллиматоров, попадал на установленную в центре реакционной камеры мишень. Мониторинг пучка ионов проводился с помощью цилиндра Фарадея, а также путем регистрации упруго рассеянных на мишени ионов поверхностно-барьерным полупроводниковым кремниевым детектором, установленным под углом  $10^\circ$  к направлению пучка ионов. В качестве мишеней использовались фольги из  $^{181}\text{Ta}$  и  $^{232}\text{Th}$  толщиной  $2,5 \text{ мг/см}^2$  и  $4,6 \text{ мг/см}^2$  соответственно. Инклюзивные спектры заряженных частиц, образующихся в ядерных реакциях, измерялись двумя  $\Delta E$ -телескопами. Один был установлен в реакционной камере и имел возможность перемещения по углу. Другой телескоп располагался в фокальной плоскости широкодиапазонного магнитного анализатора МСП-144/6/, который мог устанавливаться под разными углами относительно направления пучка ионов. Телесный угол захвата продуктов реакций для магнитного спектрометра составлял  $1 \text{ мср}$ , а для телескопа в реакционной камере -  $3 \text{ мср}$ .

Каждый телескоп состоял из кремниевых  $\Delta E$ -детектора с толщиной чувствительного слоя  $\sim 60 \text{ мкм}$  и E-детектора с чувствительным слоем  $\sim 2 \text{ мм}$ .

Телесный угол  $\Delta E$ -телескопа, установленного в фокальной плоскости анализатора, определялся из сравнения регистрации упруго рассеянных под углом  $10^\circ$  ионов  $^{20}\text{Ne}$  полупроводниковым детектором-монитором и  $\Delta E$ -телескопом магнитного анализатора,

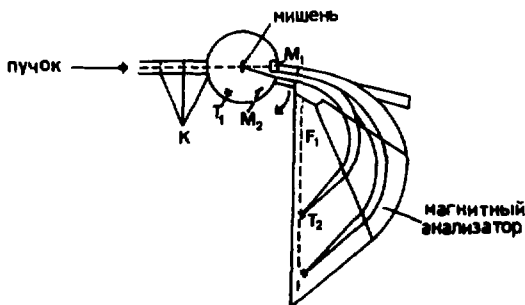


Рис.1. Схема экспериментальной установки. К - система коллиматоров,  $M_1$  и  $M_2$  - мониторы / $M_1$  - цилиндр Фарадея,  $M_2$  - поверхностно-барьерный полупроводниковый детектор/,  $T_1$  и  $T_2$  - система  $\Delta E$ -телескопов из кремниевых полупроводниковых детекторов,  $F_1$  - фокальная плоскость магнитного анализатора.

установленного под тем же углом. В анализаторе регистрировались ионы  $^{20}\text{Ne}$  с зарядностью  $9^+$  и  $10^+$ , причем доля упруго рассеянных под углом  $10^\circ$  ионов  $^{20}\text{Ne}$  с зарядностью  $9^+$  и энергией 360 МэВ составляла около 7%. Энергетическая калибровка  $\Delta E$ - и  $E$ -детекторов в реакционной камере проводилась с помощью стандартного источника  $\alpha$ -частиц  $^{226}\text{Ra}$  и генератора точной амплитуды. Эффективность регистрации определялась при сравнении счета легких заряженных частиц данной энергии этим телескопом и телескопом в магнитном анализаторе, установленном под тем же углом, что и телескоп в реакционной камере.

Определение положения фокальной плоскости анализатора и ее калибровка проводились с помощью  $\alpha$ -источника  $^{226}\text{Ra}$ , установленного на месте мишени, а также по регистрации разных зарядностей  $^{40}\text{Ar}$  с энергией 270 МэВ после прохождения тонкой углеродной мишени ( $\sim 60$  мкг/см $^2$ ).

Параметры магнитного анализатора и его калибровка описаны в работе /7/. Энергия зарегистрированных магнитным спектрометром частиц определялась по формуле

$$E = K(BX)^2 q^2/A,$$

где  $E$  - энергия частиц /МэВ/,  $B$  - значение магнитного поля в большом зазоре /Т/,  $X$  - координата прихода частицы на фокальную плоскость /М/,  $q$  - ионный заряд в единицах заряда электрона,  $A$  - масса частиц /а.е.м./,  $K$  - постоянный коэффициент.

Измерение энергетических спектров продуктов реакций, вылетающих под углами  $10^\circ$  и  $20^\circ$ , проводилось путем изменения магнитной напряженности анализатора, что позволяло регистрировать частицы со скоростями до  $7 \cdot 10^9$  см/с.

Для углов больше  $40^\circ$  частицы регистрировались телескопом, расположенным в реакционной камере, при этом определялись только энергия и заряд частицы, то есть проводилось изучение элементного выхода. Спектрометрическая информация с детекторов собиралась с помощью системы, описанной в работе /8/.

Обработка данных проводилась методом построения матрицы идентификации /7/. Конечной целью обработки являлось получение энергетических спектров интересующего нас изотопа.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

Экспериментальные данные, измеренные в настоящей работе, представлены на рис.2-12.

На рис.2 и 3 показаны энергетические распределения изотопов гелия, измеренные в реакциях  $^{181}\text{Ta} + ^{11}\text{B}$  и  $^{181}\text{Ta} + ^{20}\text{Ne}$  при углах вылета  $10^\circ$ ,  $20^\circ$  и  $40^\circ$ , а на рис.4 - для реакции  $^{232}\text{Th} + ^{11}\text{B}$  под углом  $10^\circ$ . Из рисунков видно, что энергетичес-

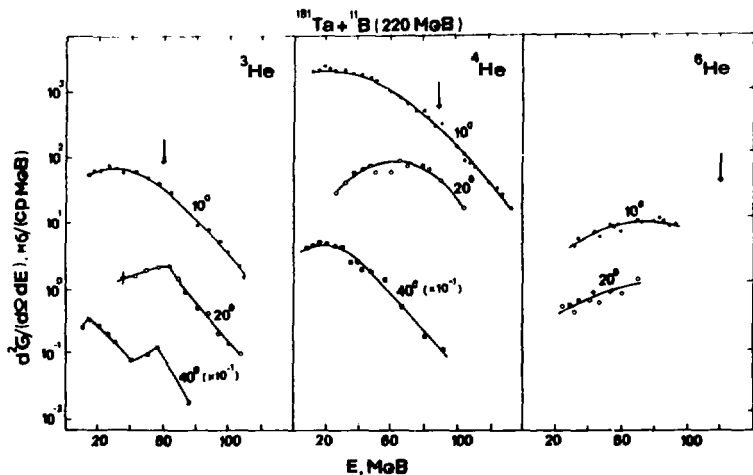


Рис. 2. Энергетические спектры изотопов гелия, измеренные в ядерной реакции  $^{181}\text{Ta} + ^{11}\text{B} / 220 \text{ МэВ} /$  при углах вылета  $10^\circ, 20^\circ$  и  $40^\circ$  /стрелкой указаны энергии, соответствующие частицам, движущимся со скоростью пучка /л.с.к./, ошибки отдельных измерений не превышают 10%.

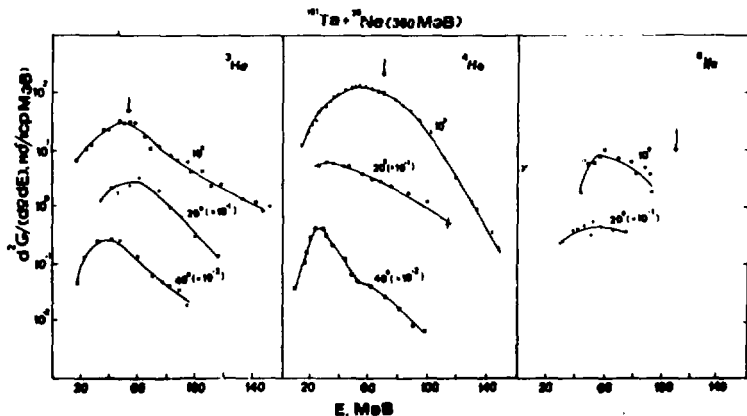


Рис. 3. Энергетические спектры изотопов гелия, измеренные в реакции  $^{181}\text{Ta} + ^{20}\text{Ne} / 360 \text{ МэВ} /$  при тех же углах вылета, что и на рис. 2.

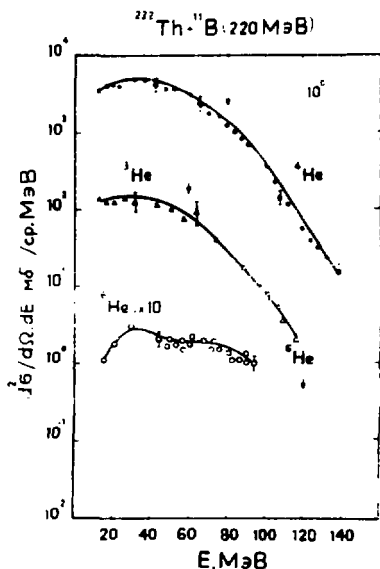


Рис.4. Энергетические спектры изотопов гелия, измеренные в реакции  $^{232}\text{Th} + ^{11}\text{B}$  /220 МэВ/ при угле вылета  $10^\circ$ .

кие спектры имеют широкое распределение и их форма сильно зависит от угла вылета, что указывает на проявление вклада нескольких компонент.

Одной из основных компонент выхода изотопов является компонента со скоростями, отвечающими скорости налетающих ионов /на рисунках эти положения отмечены стрелками/. Следует отметить, что и для изотопов гелия эта компонента составляет заметную долю, более четко эта сложная структура спектров наблюдается для

изотопов лития /рис.5,6/, бериллия /рис.7,8/, углерода /рис.9/ и кислорода /рис.10/.

На рис.11 даны энергетические спектры изотопа  $^4\text{He}$ , измеренные для реакции  $^{181}\text{Ta} + ^{20}\text{Ne}$  /360 МэВ/ при различных углах вылета относительно направления подающего пучка ионов в лабораторной системе координат. Как видно из рисунка, энергетический спектр  $^4\text{He}$  до углов  $50^\circ$  содержит несколько компонент. Под углом  $70^\circ$  спектр также носит сложный характер, а под углом  $120^\circ$  по форме напоминает испарительный.

На рис.12 приведены угловые зависимости элементарных выходов Li, Be, B и C, измеренные в реакции  $^{181}\text{Ta} + ^{20}\text{Ne}$ . Видно, что все легкие продукты реакций имеют ярко выраженную направленность в передние углы. Энергетические распределения продуктов, например, изотопов бериллия /рис.7/ и кислорода /рис.10/, измеренные под передними углами, указывают на большой выход изотопов с массой, близкой к массе налетающего иона.

Анализ энергетических спектров показывает, что для всех нейтронно-обогащенных изотопов энергетические спектры под передними углами слабо меняются с энергией при значениях энергий  $E/A$  ниже налетающих ионов.

Широкие энергетические спектры, измеренные под углами  $10^\circ$  и  $20^\circ$  для снарядоподобных ядер, а также наблюдавшиеся в реакциях изотопы с  $Z$  и  $A$  выше, чем в ядре налетающего иона (напри-

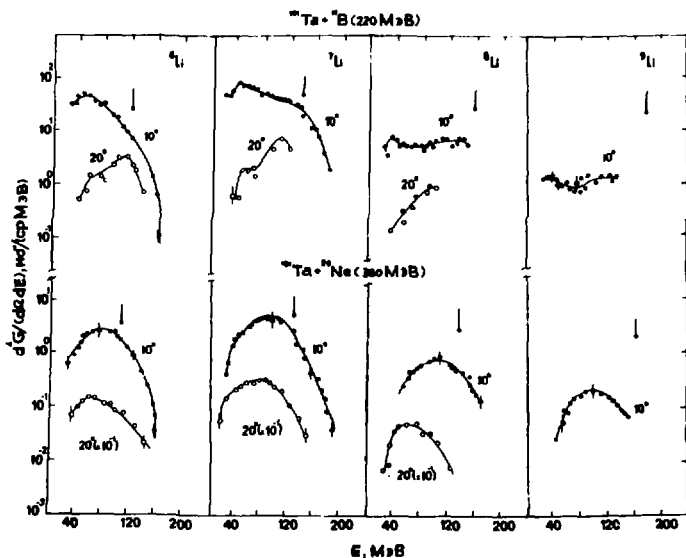


Рис.5. Энергетические спектры изотопов лития, измеренные в реакциях  $^{181}\text{Ta} + ^{11}\text{B}$  /220 МэВ/ и  $\text{Ta} + ^{20}\text{Ne}$  /360 МэВ/ при углах вылета  $10^\circ$  и  $20^\circ$ .

мер, изотопов углерода в реакции  $\text{Ta} + ^{11}\text{B}$  /рис.9/ с  $d\sigma/d\Omega_{10^\circ} = 980$  мб/ср), указывают на то, что вклад реакций передачи или обмена нуклонами при взаимодействии этих ядер, по-видимому, является определяющим по сравнению с фрагментацией бомбардирующего иона. Такие процессы наиболее ярко выражены вблизи угла "грейзинга" /угла разлета при касательных взаимодействиях/, который для изученных реакций на Ta был близок к  $15^\circ$ , а на Th - к  $20^\circ$ . О вкладе реакций передачи в образование изотопов бериллия /рис.7/ и кислорода /рис.10/ свидетельствуют характерные формы энергетических спектров выхода этих изотопов в реакциях  $^{181}\text{Ta} + ^{11}\text{B}$  и  $^{181}\text{Ta} + ^{20}\text{Ne}$ . Аналогичные процессы наблюдались в ядерных реакциях на  $^{232}\text{Th}$  с ионами  $^{11}\text{B}$  и  $^{20}\text{Ne}$  /рис.6,8,9 и табл.1/. Данное заключение не противоречит результатам работы /9/ о вкладе реакций передачи в образование снарядоподобных продуктов со скоростями, близкими к скорости иона, который является доминирующим для продуктов с атомными номерами от  $Z_p$  до  $Z_p-3$  при энергиях (20-30) МэВ/А, где  $Z_p$  - атомный номер налетающего иона. Это утверждение основано также на данных



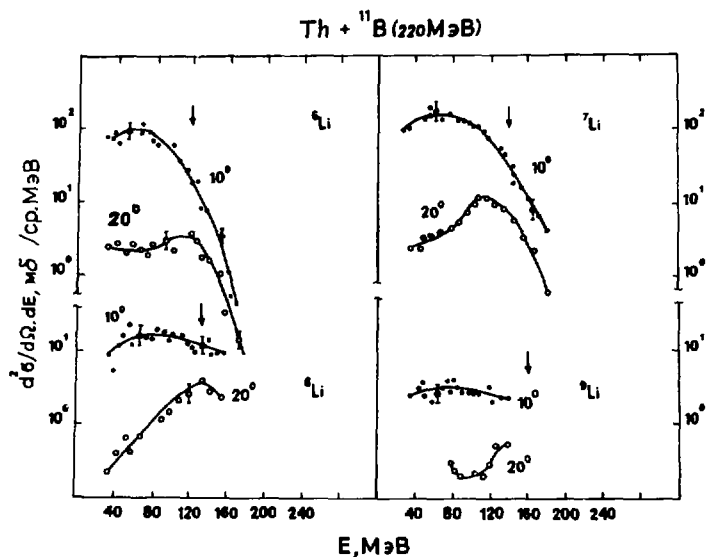


Рис. 6. Энергетические спектры изотопов лития, измеренные в реакции  ${}^{232}\text{Th} + {}^{11}\text{B} / 220 \text{ МэВ} /$  при углах вылета  $10^\circ$  и  $20^\circ$ .

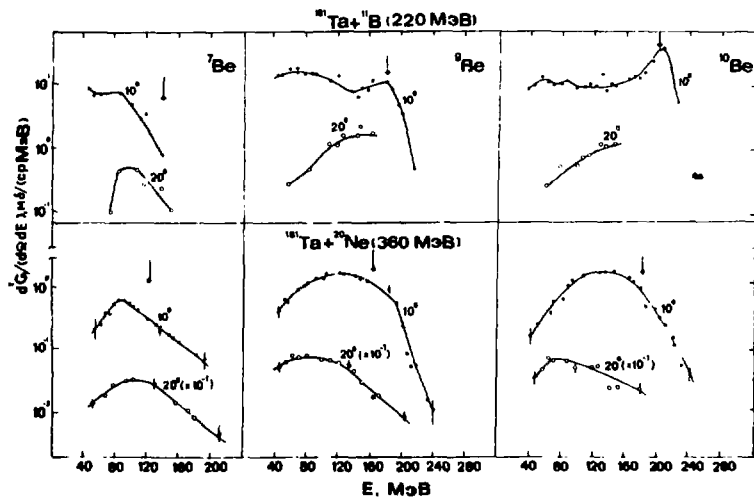


Рис. 7. Энергетические спектры изотопов бериллия, измеренные в реакциях с ионами  ${}^{11}\text{B}$  (20 МэВ/нуклон) и  ${}^{20}\text{Ne}$  (18 МэВ/нуклон) на  ${}^{181}\text{Ta}$ .

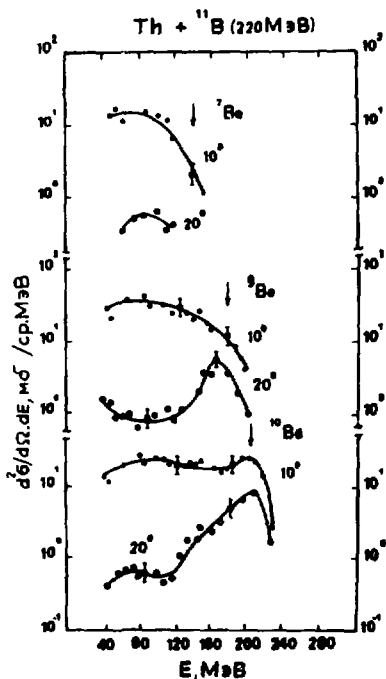


Рис.8. Энергетические спектры изотопов бериллия, измеренные в реакции  $^{232}\text{Th} + ^{11}\text{B} / 220 \text{ МэВ} /$  при углах вылета  $10^\circ$  и  $20^\circ$ .

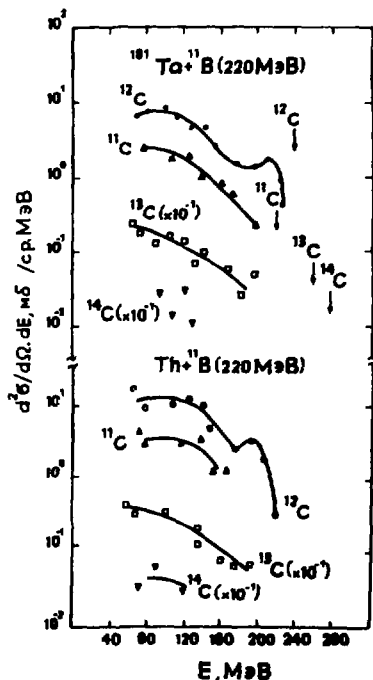


Рис.9. Энергетические спектры изотопов углерода, измеренные в ядерных реакциях  $^{181}\text{Ta} + ^{11}\text{B} / 220 \text{ МэВ} /$  и  $^{232}\text{Th} + ^{11}\text{B} / 220 \text{ МэВ} /$  при угле вылета  $10^\circ$ .

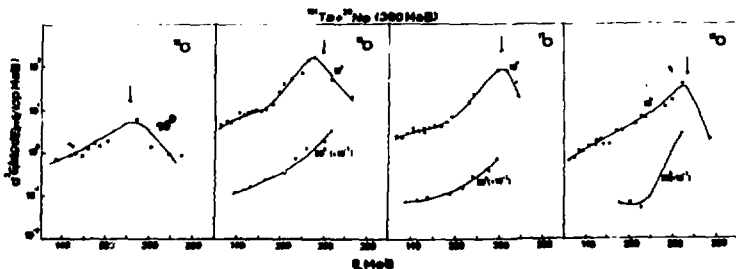


Рис.10. Энергетические спектры изотопов кислорода, измеренные в ядерной реакции  $^{181}\text{Ta} + ^{20}\text{Ne} / 360 \text{ МэВ} /$  при углах  $10^\circ$  и  $20^\circ$ .

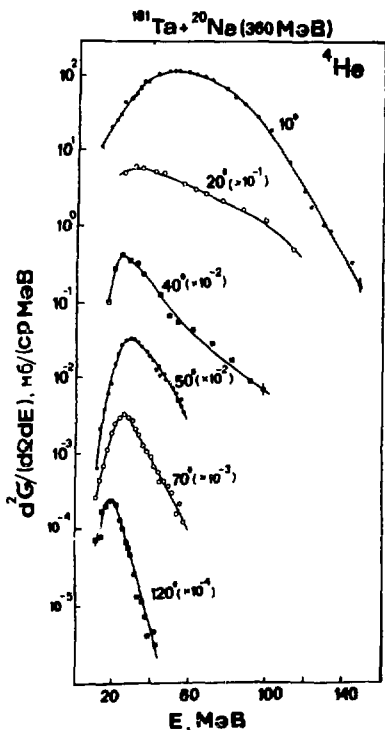


Рис.12. Угловые распределения лития, бериллия, бора и углерода, измеренные в реакции  $^{181}\text{Ta} + ^{20}\text{Ne} / 360 \text{ МэВ}$ .

корреляционных экспериментов по изучению высокоэнергетических продуктов, близких к массе снаряда, в совпадении с легкими заряженными частицами, где получена малая множественность вылета частиц/10, 12/.

Однако на основе полученных нами инклюзивных данных нельзя полностью исключить вклад от реакций фрагментации. Как показано в работах/9, 11/, для реакций  $^{58}\text{Ni} + \text{Ar} (27 \text{ МэВ/А})$  и  $\text{Au} + ^{22}\text{Ne} (17 \text{ МэВ/А})$  их вклад для различных изотопов элементов, отстоящих от снаряда по Z или A на две, три единицы, может составлять от 10 до 30%.

Рис.11. Энергетические спектры гелия-4, измеренные в реакции  $^{181}\text{Ta} + ^{20}\text{Ne} / 360 \text{ МэВ}$  при углах вылета относительно направления пучка ионов  $^{20}\text{Ne}$  от  $10^\circ$  до  $120^\circ$ .

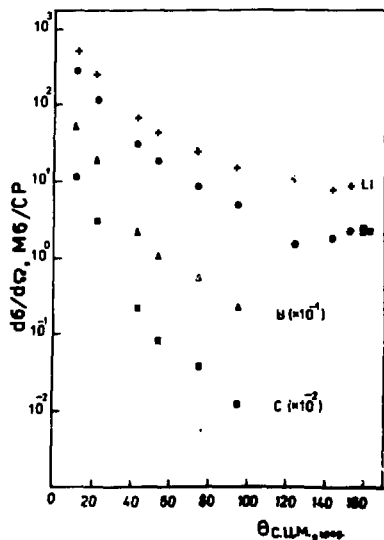


Таблица 1. Сечения образования изотопов Li, Be, B и C в ядерных реакциях  $^{181}\text{Ta} + ^{20}\text{Ne} / 360 \text{ МэВ} /$  и  $^{232}\text{Th} + ^{20}\text{Ne} / 360 \text{ МэВ} /$

Частица	$d\sigma/d\Omega_{100}, \text{ мб/ср}$	
	$^{20}\text{Ne} / 360 \text{ МэВ} / + ^{181}\text{Ta}$	$^{20}\text{Ne} / 360 \text{ МэВ} / + ^{232}\text{Th}$
$^6\text{Li}$	174	162
$^7\text{Li}$	343	337
$^8\text{Li}$	50	73
$^9\text{Li}$	14	
$^7\text{Be}$	3,8	8,2
$^9\text{Be}$	162	199
$^{10}\text{Be}$	156	158
$^{10}\text{B}$	128	174
$^{11}\text{B}$	383	496
$^{12}\text{B}$	89	100
$^{13}\text{B}$	33	36
$^{11}\text{C}$	44	100
$^{12}\text{C}$	556	727
$^{13}\text{C}$	578	601
$^{14}\text{C}$	278	311
$^{15}\text{C}$	38	

Ошибки в определении сечений  $\leq 5\%$ .

Образование более легких продуктов реакций может быть частично объяснено проявлением вклада от реакций развала после массивных передач. Остаток в таком случае может также иметь скорость, близкую или несколько ниже скорости снаряда. Для каждого продукта вблизи энергии, отвечающей скорости пучка, наблюдается ярко выраженное увеличение сечения образования частиц. Этот эффект проявляется также в случае образования ядер  $^4\text{He}$ . Аналогичные спектры  $^4\text{He}$ , измеренные в таких же реакциях, но с более низкой энергией тяжелых ионов ( $E_p \leq 10 \text{ МэВ/А}$ ), не обладают такой структурой<sup>1/</sup>.

Возможны и другие механизмы реакций, дающих вклад в образование легких изотопов. Например, в тех же квазиупругих и глубоконеупругих процессах происходит мгновенный развал снаряда в поле ядра мишени или последовательный развал ядра снаряда вне поля ядра мишени. На самом деле имеется наложение всех

этих процессов. В ряде таких взаимодействий передача нуклонов может сопровождаться возбуждением ядер донора и акцептора.

Плавную форму угловых распределений  $\text{He}$ ,  $\text{Li}$  и  $\text{Be}$  /см.рис.11, 12/ при больших углах, начиная с  $90^\circ$ , можно интерпретировать как проявление вклада испарения легких фрагментов из составного ядра или из возбужденных продуктов реакции передачи.

Оценки величин сечения образования легких ядер  $^i\text{He} - \text{Be}$ , проведенные на основе модели каскадного испарения нуклонов и фрагментов при распаде возбужденных составных ядер<sup>13/</sup> в предположении реализуемых угловых моментов до  $\ell \sim 60$ , дают на порядок меньшие значения по сравнению с наблюдаемыми в экспериментах при углах эмиссии  $90^\circ - 120^\circ$ . Эти оценки показывают, что испарением из равновесного состояния составной системы нельзя полностью объяснить испускание легких ядер. Заметный вклад в эти процессы могут давать предравновесные состояния, которые трудно оценить количественно.

Наблюдаемое в данном эксперименте увеличение сечения образования легких ядер  $^i\text{He} - \text{C}$  по сравнению с сечениями при энергии ионов  $8 - 10$  МэВ/нуклон<sup>1,2/</sup>, а также данные других опытов, проведенных на пучках тяжелых ионов промежуточных энергий<sup>14/</sup>, указывают на возможность использования подобных реакций для синтеза экзотических изотопов, а также получения интенсивных вторичных пучков этих ядер. Рассмотрим полученные экспериментальные данные с этой точки зрения. При низких энергиях бомбардирующих ионов для оценки величины сечения образования экзотических изотопов часто используется так называемая систематика  $Q_{gg}$ , где  $Q_{gg}$  определяется из энергетического баланса реакции для продуктов, образующихся в основном состоянии<sup>2/</sup>.

На рис.13 приведены измеренные в реакциях  $^{181}\text{Ta} + ^{20}\text{Ne}$  /360 МэВ/,  $^{181}\text{Ta} + ^{11}\text{B}$  /220 МэВ/ и  $^{181}\text{Ta} + ^{22}\text{Ne}$  /178 МэВ//1/ сечения образования изотопов  $\text{Li}$  и  $\text{Be}$  как функции  $Q_{gg}$  при угле вылета  $10^\circ$ . Видно, что несмотря на сложность процессов образования этих изотопов при высоких энергиях ионов экспоненциальная зависимость сечения от  $Q_{gg}$  отражает общую тенденцию выходов изотопов данного элемента. С увеличением энергии ионов до 18 МэВ/нуклон выход изотопов  $\text{Li}$  и  $\text{Be}$  возрастает более чем на 2 порядка.

Сравнение сечений образования изотопов лития в реакциях  $^{20}\text{Ne} + ^{181}\text{Ta}$  и  $^{11}\text{B} + ^{181}\text{Ta}$  /см.рис.5, 13/ приводит к следующим выводам. Сечения образования легких изотопов, не обогащенных нейтронами, в реакциях с ионами бора на порядок выше, чем в реакциях с ионами неона, что отвечает большому значению сечения реакций передачи нескольких нуклонов по сравнению с сечением реакций глубоконеупругих передач в случае взаимодействия ядер неона и тантала, приводящего к образованию тех же изотопов.

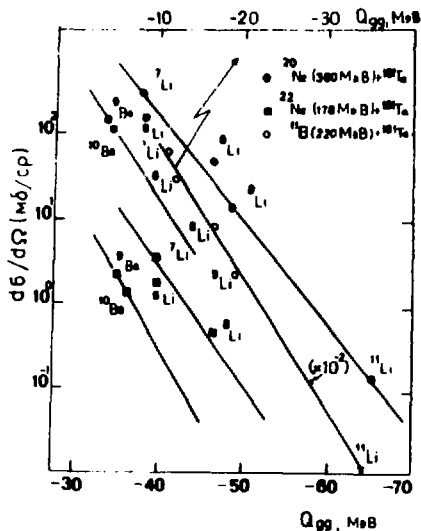


Рис. 13. Сечения образования изотопов бериллия и лития в ядерных реакциях при бомбардировке  $^{181}\text{Ta}$  ионами  $^{11}\text{B}$  /220 МэВ/,  $^{20}\text{Ne}$  /360 МэВ/, измеренные в данной работе, и  $^{22}\text{Ne}$  /178 МэВ/, заимствованные из работы /11/, как функция  $Q$  реакции для этих продуктов, образовавшихся в основном состоянии.

Для ядер  $^{11}\text{Li}$  ситуация становится обратной. В реакциях с ионами  $^{11}\text{B}$  ядра  $^{11}\text{Li}$  не были обнаружены на уровне сечений 0,04 мб/ср, хотя на основании систематики  $Q_{gg}$  это сечение должно быть

близким к 1 мб/ср. Эти результаты находятся в согласии с данными работы /16/, где сечение образования  $^{11}\text{Li}$  в реакции  $^{232}\text{Th} + ^{11}\text{B}$  /89 МэВ/ составляло величину  $\sim 2,8 \cdot 10^{-3}$  мб/ср, что значительно ниже предсказываемого из экстраполяции по выходам изотопов  $\text{Li}$  в этой реакции на основании  $Q_{gg}$ -систематики.

В реакции с  $^{20}\text{Ne}$  измеренное сечение образования  $^{11}\text{Li}$  /0,2 мб/ср/ подчиняется систематике  $Q_{gg}$  /рис.13/. Отсутствие  $^{11}\text{Li}$  в реакции с  $^{11}\text{B}$  можно объяснить значительно меньшим сечением реакции двойного зарядового обмена или подхвата нейтронов остатком ядра-снаряда:  $^{11}\text{B} + ^{181}\text{Ta} \rightarrow ^{11}\text{Li} + ^{181}\text{Re}$ , чем реакции развала  $^{20}\text{Ne} + ^{181}\text{Ta} \rightarrow ^{11}\text{Li} + ^{190}\text{Hg}$ . Подтверждением этого может служить сравнение сечений образования изотопов углерода в обеих этих реакциях. В случае реакций с ионами  $^{20}\text{Ne}$  сечение образования изотопов углерода  $d\sigma/d\Omega = 1490$  мб/ср/ больше, чем в случае реакций с ионами  $^{11}\text{B}$   $d\sigma/d\Omega = 980$  мб/ср/. Из этих рассмотрений следует, что для получения нейтроноизбыточных экзотических ядер необходимо выбирать ионы с числом протонов и нейтронов не меньшим, чем в синтезируемом экзотическом изотопе.

Известно, что  $\bar{N}/Z$ -отношение в распределении продуктов реакций с данным  $Z$  возрастает с увеличением  $N/Z$ -отношения ядер мишени и  $N$  вылетающего иона /при данном  $Z$ / /14-15/. В пределах экспериментальных ошибок на таких относительно тяжелых мишенях, как  $^{181}\text{Ta}$  и  $^{232}\text{Th}$ , не было обнаружено четкого роста

$\bar{N}/Z$ -отношения в распределении для легких элементов /табл.2/ от  $N/Z$ -мишени.

Полученные нами результаты свидетельствуют о росте сечений образования некоторых изотопов Be, B и C с ростом массы мишени /см.табл.1, а также рис.5,6 и 7,8/.

Таблица 2.  $\bar{N}/Z$ -отношение в распределении легких элементов, образовавшихся в реакциях  $^{181}\text{Ta} + ^{20}\text{Ne}$  и  $^{232}\text{Th} + ^{20}\text{Ne}$

Изотопы	$\bar{N}/Z$ -отношение	
	$^{20}\text{Ne} /360 \text{ МэВ/} + ^{181}\text{Ta}$	$^{20}\text{Ne} /360 \text{ МэВ/} + ^{232}\text{Th}$
Li	1,26	1,28
Be	1,36	1,25
B	1,21	1,20
C	1,13	1,11

Из рассмотренного выше можно сделать заключение, что наиболее перспективными реакциями для получения ядер  $^{10}\text{Ne}$  и  $^{13}\text{Li}$  следует считать ядерные реакции, реализуемые при бомбардировке мишеней из  $^{232}\text{Th}$  или  $^{238}\text{U}$  ионами  $^{20}\text{Ne}$  и  $^{22}\text{Ne}$  с энергиями 18-20 МэВ/нуклон.

Контрольные опыты, проведенные нами на легких мишенях из углерода и лития, показали, что наиболее интенсивные пучки  $^6\text{He}$  и  $^9\text{Li}$  следует ожидать в реакциях с ионами  $^{18}\text{F}$  /~20 МэВ/нуклон/. В этом случае, применив более толстые мишени из бериллия или углерода /~ 50 ÷ 100 мг/см<sup>2</sup>/, интенсивность  $^6\text{He}$  можно довести до величины, близкой к  $10^{-7}$  от интенсивности первичного пучка.

Авторы благодарны академику Г.Н.Флерову за предоставленную возможность постановки данной работы, профессору Ю.Ц.Оганесяну за постоянное внимание и поддержку исследований. Авторы благодарят сотрудников отдела ускорителя У-400 за обеспечение работы ускорителя в новом режиме ускорения тяжелых ионов. Авторы считают приятным долгом поблагодарить Б.И.Пустыльника и Ю.А.Музычку за проведение расчетов испарения легких фрагментов при распаде возбужденных составных ядер.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пенионжкевич Ю.Э. и др. - ЭЧАЯ, 1986, 17, с.165.
2. Волков В.В. Ядерные реакции глубоконеупругих передач. М: Энергоатомиздат, 1982.
3. Awes T.C. et al. - Phys.Rev., 1981, C24, p.89.
4. Machner H. et al. - Phys.Rev., 1985, C31, p.443.
5. Fuchs H. et al. - Phys.Rev., 1985, C31, p.465.
6. Майдигов В.З. и др. - ПТЭ, 1979, 4, с.68.
7. Белозеров А.В. и др. Препринт ОИЯИ 13-85-535, Дубна, 1985.
8. Купчак Р. и др. - ПТЭ, 1985, 5, с.67.
9. Bizard G. - Journ. de Phys., 1986, 47, CoC4, p.C4-35, Report on the Intern.Conf. on Heavy Ion Nuclear Collisions in the Fermi Energy Domain, Saen, May 1986.
10. Bizard G. et al. LPC 85-08, 1985; Phys.Lett., 1986, B172, p.301.
11. Dayraz R. - Journ. de Phys., 1986, 47, CoC4, p.C4-13.
12. Detraz C. GANIL Report, P.87-19, 1987.
13. Музычка Ю.А., Пустыльник Б.И., Авдейчиков В.В. В сб.: Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. ОИЯИ, Д7-87-68, Дубна, 1987, с.589.
14. Guerreau D. GANIL Report P 85.02, 1985.
15. Egebhaaf Ch. et al. - Nucl.Phys., 1983, A405, p.397.
16. Оганесян Ю.Ц. и др. - Письма в ЖЭТФ, 1982, 36, с.104.

Рукопись поступила в издательский отдел  
1 июня 1988 года.



### НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
Д2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.
Д1.2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р. 50 к.
Д17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. (2 тома)	7 р. 75 к.
Д11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р. 00 к.
Д13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1985.	4 р. 80 к.
Д4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985.	3 р. 75 к.
Д3.4,17-86-747	Труды V Международной школы по нейтронной физике Алушта, 1986.	4 р. 50 к.
—	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984. (2 тома)	13 р. 50 к.
Д1.2-86-668	Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1986. (2 тома)	7 р. 35 к.
Д9-87-105	Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1986. (2 тома)	13 р. 45 к.
Д7-87-68	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1986.	7 р. 10 к.
Д2-87-123	Труды Совещания "Ренормгруппа - 86". Дубна, 1986.	4 р. 45 к.
Д4-87-692	Труды Международного совещания по теории малочастичных и кварк-адронных систем. Дубна, 1987.	4 р. 30 к.
Д2-87-798	Труды VIII Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1987.	3 р. 55 к.
Д14-87-799	Труды II Международного симпозиума по проблемам взаимодействия мюонов и пионов с веществом. Дубна, 1987	4 р. 20 к.
Д17-88-95	Труды IV Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1987.	5 р. 20 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу: 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79. Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ  
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ**

<b>Индекс</b>	<b>Тематика</b>
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Белозеров А.В. и др.

P7-88-388

Образование легких ядер в реакциях с тяжелыми ионами  $^{118}\text{B}$  и  $^{20}\text{Ne}$  при энергиях 18-20 МэВ/нуклон

Измерены энергетические и угловые распределения легчайших ядер с  $2 \leq Z \leq 8$  и  $3 \leq A \leq 20$ , образующихся в реакциях  $^{181}\text{Ta}$  ( $^{232}\text{Th}$ ) +  $^{20}\text{Ne}$  (18 МэВ/нуклон) и  $^{181}\text{Ta}$  ( $^{232}\text{Th}$ ) +  $^{11}\text{B}$  (20 МэВ/нуклон). Показано, что изотопы с атомными номерами и массовыми числами, близкими к  $Z$  и  $A$  иона, образуются, в основном, в реакциях передачи. В образование более легких продуктов вносят вклад несколько процессов взаимодействия сталкивающихся ядер: мгновенный и последовательный развал ядер налетающих ионов после массивных передач, а также испарение кластеров из составной возбужденной системы или ее остатка. Обнаружено, что выход изотопов  $\text{Li}$  и  $\text{Be}$  с увеличением энергии ионов с 8 МэВ/нуклон до 18 МэВ/нуклон возрастает почти на 2 порядка. Рассмотрены дальнейшие перспективы синтеза изотопов  $^{10}\text{Ne}$  и  $^{13}\text{Li}$  и получения вторичных пучков  $^6,^9\text{He}$  и  $^7,^9\text{Li}$ .

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1988

Перевод О.С.Виноградовой

Belozero A.V. et al.

P7-88-388

Production of Light Nuclei in Boron-11 and Neon-20 Heavy Ion Reactions with 18-20 MeV/Nucleon Energies

The energy and angular distributions of light nuclei with  $2 \leq Z \leq 8$  and  $3 \leq A \leq 20$ , formed in the  $^{181}\text{Ta}$  ( $^{232}\text{Th}$ ) +  $^{20}\text{Ne}$  (18 MeV/nucleon) and  $^{181}\text{Ta}$  ( $^{232}\text{Th}$ ) +  $^{11}\text{B}$  (20 MeV/nucleon) reactions are presented. It is shown that isotopes with atomic and mass numbers close to the projectile  $Z$  and  $A$  values are formed basically in transfer reactions. To the formation of lighter products several processes contribute: prompt and sequential breakup of the projectile after massive transfer, and also cluster evaporation either from an excited composite system or from a residual nucleus. It is found that the yield of  $\text{Li}$  and  $\text{Be}$  isotopes rises by about two orders of magnitude when increasing the projectile energy from 8 to 18 MeV/nucleon. Further perspectives for the synthesis of  $^{10}\text{Ne}$  and  $^{13}\text{Li}$  and for the production of secondary beams of  $^6,^9\text{He}$  and  $^7,^9\text{Li}$  nuclei are analyzed.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1988

22 коп.

Редактор Т.Я.Жабницкая. Макет Р.Д.Фоминой.

Набор Л.В.Пахомовой.

Подписано в печать 07.07.88.

Формат 60x90/16. Офсетная печать. Уч.-изд.листов 1,43.

Тираж 335. Заказ 40782.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.  
Дубна Московской области.