

P15-2004-122

А. А. Хассан¹, С. М. Лукьянов, Р. Калпакчиева,
Ю. Э. Пенионжкевич, Р. А. Астабатьян, И. Винцоур²,
З. Длоугы², Я. Мразек², С. П. Лобастов, А. А. Кулько,
Э. Р. Маркарян, В. А. Маслов, Н. К. Скобелев, Ю. Г. Соболев

ИЗУЧЕНИЕ СЛИЯНИЯ ЯДЕР В РЕАКЦИЯХ ${}^4,6\text{He}$ И ${}^7\text{Li}$
С ЯДРАМИ ${}^{208}\text{Pb}$ И ${}^{209}\text{Bi}$

Направлено в журнал «Известия РАН, серия физическая»

¹Zagazig University, Faculty of Science, Physics Department, Egypt

²Институт ядерной физики, Ржеж, Чехия

Хассан А. А. и др.

P15-2004-122

Изучение слияния ядер в реакциях ${}^4,6\text{He}$ и ${}^7\text{Li}$
с ядрами ${}^{208}\text{Pb}$ и ${}^{209}\text{Bi}$

Измерены сечения деления и слияния ядер для реакций ${}^4,6\text{He} + {}^{209}\text{Bi}$ и ${}^7\text{Li} + {}^{208}\text{Pb}$ в диапазоне энергий от кулоновского барьера до 200 МэВ. Эксперимент проведен на ускорителе У400М ЛЯР ОИЯИ. Показано, что в пределах экспериментальных погрешностей экспериментально измеренные функции деления и слияния для этих реакций имеют близкие значения в широком диапазоне энергий возбуждения. Проведен анализ функций возбуждения слияния и деления для исследуемых реакций ${}^4\text{He} + {}^{209}\text{Bi}$, ${}^6\text{He} + {}^{209}\text{Bi}$ и ${}^7\text{Li} + {}^{208}\text{Pb}$, приводящих к образованию тех же самых составных систем ${}^{213,215}\text{At}$. Этот анализ выполнен с использованием кодов PACE-4 и CCFULL.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2004

Перевод авторов

Hassan A. A. et al.

P15-2004-122

Study of Fusion Reactions Induced by ${}^4,6\text{He}$ and ${}^7\text{Li}$ Beams
on ${}^{208}\text{Bi}$ and ${}^{208}\text{Pb}$ Targets

Fission and evaporation cross sections were measured in a broad range of energies near the Coulomb barrier and up to 200 MeV in the reactions ${}^4,6\text{He} + {}^{209}\text{Bi}$ and ${}^7\text{Li} + {}^{208}\text{Pb}$. The secondary ${}^4,6\text{He}$ beams were produced using the beam-transport line of the U400M accelerator at FLNR, JINR. The experimental fusion and fission excitation functions obtained for the different reactions ${}^4\text{He} + {}^{209}\text{Bi}$, ${}^6\text{He} + {}^{209}\text{Bi}$ and ${}^7\text{Li} + {}^{208}\text{Pb}$ and leading to the same composite nuclei ${}^{213,215}\text{At}$ were analyzed using the PACE-4 and CC codes.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2004

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время наблюдаются значительные достижения в технике получения экзотических вторичных радиоактивных пучков, или пучков ионов слабосвязанных ядер. С точки зрения понимания внутренней структуры экзотических ядер, а также динамики их взаимодействия с ядрами мишени реакции слияния этих ионов с тяжелыми мишенями являются предметом исследований в экспериментальной и теоретической ядерной физике.

Особый интерес представляют пучки нейтроноизбыточных ядер, для которых характерно наличие валентных нейтронов, приводящих к образованию нейтронного гало. Ядрами с такой структурой являются ${}^6\text{He}$ и ${}^{11}\text{Li}$. Следствием более протяженного распределения плотности нейтронов в этих ядрах, по сравнению с обычными ядрами вблизи долины стабильности, становится то, что при их слиянии может проявляться «спаривание коллективных степеней свободы» [1], что в свою очередь приводит к увеличению вероятности туннелирования через потенциальный барьер. В итоге это приводит к увеличению вероятности слияния нейтроноизбыточных ядер с ядрами мишени. С другой стороны, так как эти ядра являются слабосвязанными, это должно приводить к увеличению вероятностей их развала с последующим слиянием с одним из продуктов развала или к реакциям передачи нуклонов без процесса слияния двух взаимодействующих ядер.

Однако, несмотря на понимание физики происходящих процессов, нет достаточно полных экспериментальных данных, посвященных исследованию слияния и распада составных систем, образующихся при взаимодействии пучков нейтроноизбыточных ядер с ядрами мишени при энергиях частиц над барьером слияния. Так, например, в настоящее время имеются противоречивые данные о сечениях слияния в реакциях, вызванных ионами ${}^6\text{He}$; одни из них свидетельствуют об увеличении сечения слияния, а другие о подавлении слияния. Для настоящих исследований был выбран и получен пучок ионов ${}^6\text{He}$ с варьируемой энергией в диапазоне 25–200 МэВ. Впервые были получены полные данные о процессах слияния и распада составной системы (о делении и образовании испарительных остатков после испарения x -нейтронов), образующейся в реакции ${}^6\text{He} + {}^{209}\text{Bi}$ в указанном диапазоне энергий.

При изучении взаимодействия редких экзотических ядер актуальным является вопрос о выборе соответствующих каналов реакций для сравнения и

последующего выявления характерных особенностей в динамике взаимодействия и структуре изучаемых ядер. Для полноты интерпретации экспериментальных данных в настоящей работе проведено сравнение сечения образования испарительных остатков (ЕР) и сечения деления в реакциях ${}^6\text{He} + {}^{209}\text{Bi}$ и ${}^4\text{He} + {}^{209}\text{Bi}$. Поскольку данные реакции приводят к образованию различных составных ядер, ${}^{215}\text{At}$ и ${}^{213}\text{At}$, для того, чтобы исключить эту неопределенность, было проведено также исследование реакции ${}^7\text{Li} + {}^{208}\text{Pb}$, приводящей к образованию того же составного ядра ${}^{215}\text{At}$, что и в реакции ${}^6\text{He} + {}^{209}\text{Bi}$.

1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕТОДИКА

Схематическое изображение установки, предназначенной для одновременной регистрации актов деления и продуктов распада испарительных остатков (xn -каналов реакций) в режиме измерения on-line, представлено на рис. 1. Установка включает в себя две мишени (толщиной ~ 300 мкг/см² каждая) и две пары кремниевых полупроводниковых поверхностно-барьерных детекторов (ППД), окружающих эти мишени. Мишени (в данном случае ${}^{209}\text{Bi}$ или ${}^{208}\text{Pb}$), на ядрах которых происходит взаимодействие с ядрами пучка, размещаются под углом 45° к оси пучка. ППД имеют достаточно большой диаметр (~ 5 см) и размещаются на расстоянии около 3 см от мишеней. Такая геометрия позволила добиться относительно большого эффективного телесного

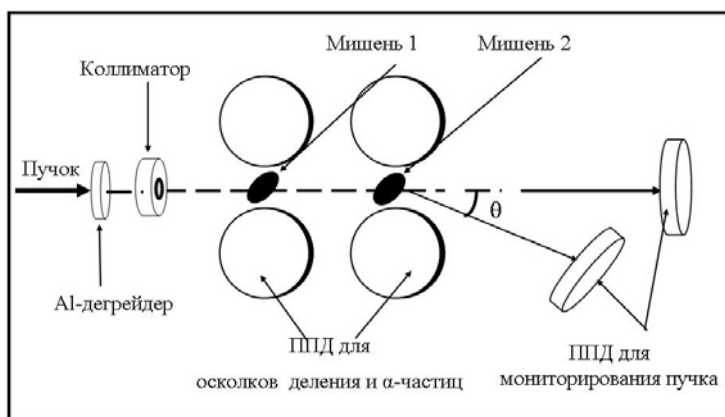


Рис. 1. Схема экспериментальной установки, включающей в себя систему коллимации вторичного пучка, две мишени и две пары полупроводниковых Si-детекторов для регистрации мгновенных осколков деления и α -частиц от распада ядер-продуктов испарительных реакций

угла (30 % от 4π), это дает возможность набирать в эксперименте достаточную статистику даже в условиях низкой ($\sim 10^4$ част./с) интенсивности вторичных пучков. Использование установки из двух мишеней позволяет увеличить статистику в два раза, поскольку потери энергии вторичного пучка в мишени составляют величину меньше 1 МэВ, что сравнимо с энергетическим разрешением самого вторичного пучка. Взаимное расположение каждой пары ППД относительно мишени было выбрано в соответствии с кинематикой для регистрации совпадений коррелированных пар осколков вынужденного деления.

Для получения функции возбуждения реакций с образованием осколков деления и испарительных остатков осуществлялась необходимая вариация энергии пучка ионов в диапазоне от 20–200 МэВ. С этой целью использовалась ионно-оптическая система транспортировки пучков ускорителя У400М ЛЯР ОИЯИ. Толстый (5–6 мм) поглотитель из бериллия устанавливался по пути первичного пучка (в данном случае пучка ионов ${}^7\text{Li}$ с энергией 35 МэВ/нуклон) и выполнял двойную функцию: он служил в качестве производящей мишени для вторичного пучка или в качестве поглотителя для снижения энергии первичного пучка. Последующая монохроматизация вторичного пучка ${}^6\text{He}$ и первичного пучка ${}^7\text{Li}$ с меньшей энергией осуществлялись посредством ахроматической магнитной системой 3QDQQD2Q ускорителя У400М. Импульсный захват этой системы составлял величину около $\pm 0,7\%$, а значение энергии пучка менялось путем изменения магнитного поля системы 3QDQQD2Q.

Особое внимание было уделено регистрации и идентификации ядер испарительных остатков по α -распаду. Чтобы исключить фон от прямых реакций с образованием α -частиц, были использованы специальный «электронный ключ» и модуляция пучка. Эта методика позволяла проводить регистрацию «мгновенных» осколков деления в режиме beam-on и регистрацию α -частиц в режиме beam-off от распада ядер, образовавшихся после испускания x -нейтронов из составного ядра.

Ниже представлены экспериментальные результаты, полученные в данной работе, по исследованию процессов деления и образования испарительных остатков в реакциях ${}^4\text{He} + {}^{209}\text{Bi}$, ${}^6\text{He} + {}^{209}\text{Bi}$ и ${}^7\text{Li} + {}^{208}\text{Pb}$ в надбарьерной области энергий. Сечения деления были измерены в режиме beam-on. Регистрация и идентификация долгоживущих испарительных остатков (xn -каналы реакций) были выполнены в режиме beam-off, а для короткоживущих ядер, испытывающих α -распад (для величин периодов $T_{1/2}$ меньших 1 с), в режиме on-line. В случае долгоживущих ядер использовался также режим off-line для измерений наведенных α - и γ -радиоактивностей в облученных мишенях.

1.1. Измерение α -спектров ядер-продуктов испарительных каналов в реакциях ${}^4\text{He} + {}^{209}\text{Bi}$, ${}^6\text{He} + {}^{209}\text{Bi}$ и ${}^7\text{Li} + {}^{208}\text{Pb}$. Характеристики главных мод α -распада ядер, образованных в реакциях ${}^{4,6}\text{He} + {}^{209}\text{Bi}$ и ${}^7\text{Li} + {}^{208}\text{Pb}$, представлены в таблице.

Характеристики ветвей α -распада изотопов $^{213,215-xn}\text{At}$, образующихся в реакциях $^{4,6}\text{He} + ^{209}\text{Bi}$ и $^7\text{Li} + ^{208}\text{Pb}$

xn (^4He)	xn (^6He , ^7Li)	Ядро-остаток	Период $T_{1/2}$	Энергия E_α , МэВ
—	$1n$	^{214}At	558 нс	8,82
$0n$	$2n$	^{213}At	125 нс	9,08
$1n$	$3n$	^{212}At	314 мс	7,68
$2n$	$4n$	^{211}At	7,21 ч	5,87 7,28 (^{211}Po , 516 мс)
$3n$	$5n$	^{210}At	8,1 ч	5,36–5,52 5,3 (^{210}Po , 138,4 дн.)

Для иллюстрации на рис. 2 представлен энергетический спектр α -частиц, измеренный в режиме on-line при α -распаде изотопов At, образовавшихся в реакции $^7\text{Li} + ^{208}\text{Pb}$. Канал с испусканием из составного ядра трех нейтронов, приводящий к образованию ^{212}At , отчетливо идентифицируется по пику в спектре α -частиц с энергией $E_\alpha = 7,8$ МэВ. Примеры спектров α -частиц, измеренных в режиме off-line, представлены на рис. 3 и 4. Эти спектры были получены при измерении продуктов реакций $^6\text{He} + ^{209}\text{Bi}$ и $^7\text{Li} + ^{208}\text{Pb}$ и использованы для идентификации канала реакции с испарением из составного

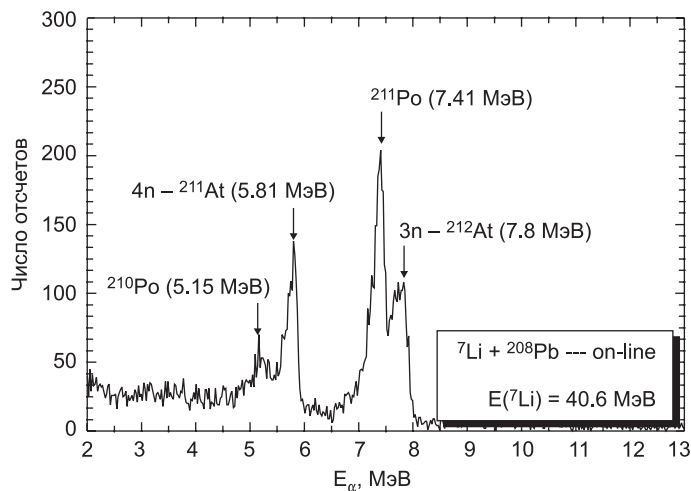
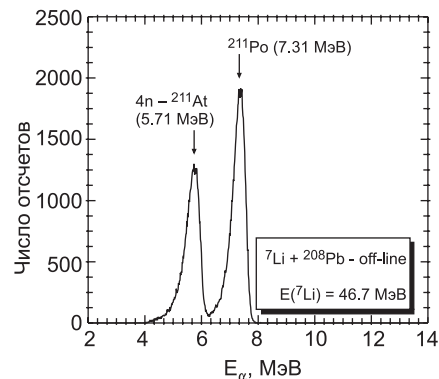


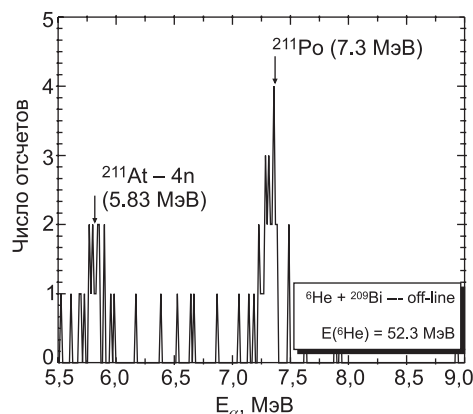
Рис. 2. Измеренный в режиме on-line энергетический спектр α -частиц испарительных продуктов, образовавшихся при распаде составного ядра в реакции $^7\text{Li}(40,6 \text{ МэВ}) + ^{208}\text{Pb}$

Рис. 3. Измеренный в режиме off-line энергетический спектр α -частиц, наблюдавшихся при распаде ^{211}At , продукта, соответствующего каналу с испарением четырех нейтронов из составного ядра, образовавшегося в реакции $^7\text{Li}(46,7 \text{ МэВ}) + ^{208}\text{Pb}$



ядра четырех нейтронов. Несмотря на малую статистику в суммарных спектрах α -частиц в случае изучения реакций на вторичном пучке ^6He , канал испарения $4n$ хорошо выделяется.

Рис. 4. Энергетический спектр α -частиц, наблюдавшихся в реакции $^6\text{He} + ^{209}\text{Bi}$ и соответствующих ^{211}At как продукту испарения из составного ядра четырех нейтронов, при энергии пучка ^6He 52,3 МэВ



1.2. Идентификация ядер-продуктов реакций «слияние–испарение» по γ -излучению при облучении ^7Li -мишеней из ^{208}Pb . Для реакций $^7\text{Li} + ^{208}\text{Pb}$ и $^6\text{He} + ^{209}\text{Bi}$ были исследованы продукты, образовавшиеся после испарения из составной системы от пяти до девяти нейтронов (будем называть их продуктами $5n-9n$ испарительных каналов) в режиме off-line по характеристическому γ -излучению. Идентификация ядер была проведена при анализе измеренных нами γ -спектров с выделением пиков с характерными для синтезируемых ядер значениями энергий γ -переходов и периодов полураспада ($T_{1/2}$). На рис. 5 представлен энергетический спектр γ -лучей, полученный для продуктов реакции $^7\text{Li} + ^{208}\text{Pb}$ при энергии бомбардирующих ионов 67 МэВ, а на рис. 6 приведены кривые изменения со временем интенсивности выде-

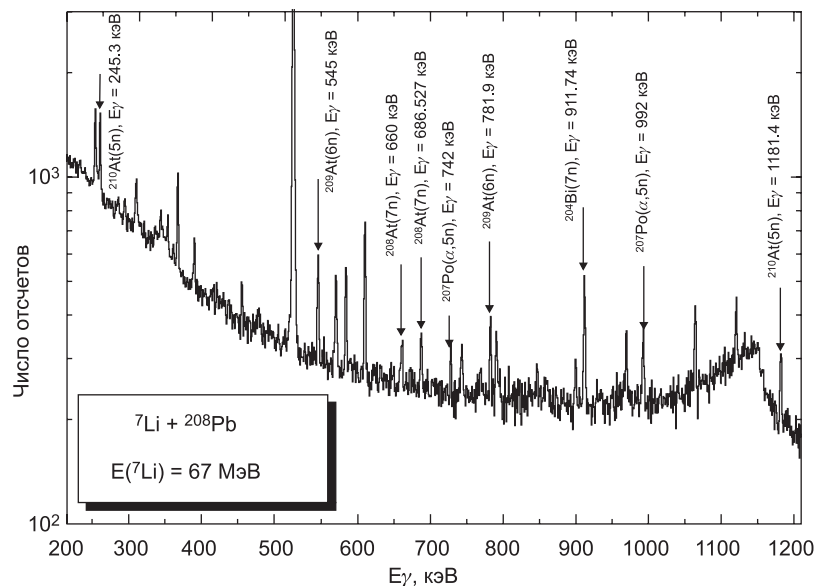


Рис. 5. Энергетический спектр γ -лучей и идентификация ядер-продуктов реакций с испарением $5n-7n$ -нейтронов при облучении ионами ${}^7\text{Li}$ (67 МэВ) мишени из ${}^{208}\text{Pb}$

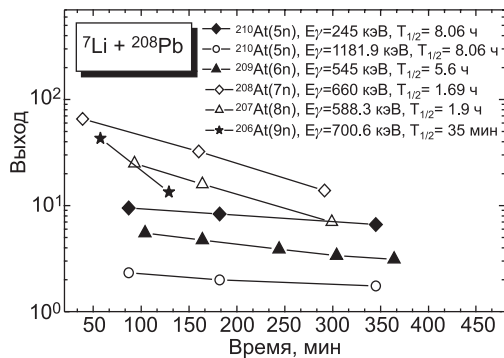


Рис. 6. Кривые распада для характерных γ -линий наведенной в мишенях γ -активности в реакции ${}^7\text{Li}(67 \text{ МэВ}) + {}^{208}\text{Pb}$ (идентификация характерных γ -линий для ядер-продуктов $5n-9n$ испарительных каналов в указанной реакции)

ленных нами линий γ -лучей для определения периодов полураспада $T_{1/2}$ и идентификации образовавшихся ядер.

1.3. Измерение осколков деления в реакциях ${}^{4,6}\text{He} + {}^{209}\text{Bi}$, ${}^7\text{Li} + {}^{208}\text{Pb}$ и ${}^7\text{Li} + {}^{209}\text{Bi}$. Регистрация коррелированных пар осколков деления проводилась каждой парой Si-детекторов в совпадении, а изменение энергии налетающих ионов позволило получить функцию возбуждения деления, т. е. зависимость сечения деления ядер мишени ядрами налетающих ионов от их

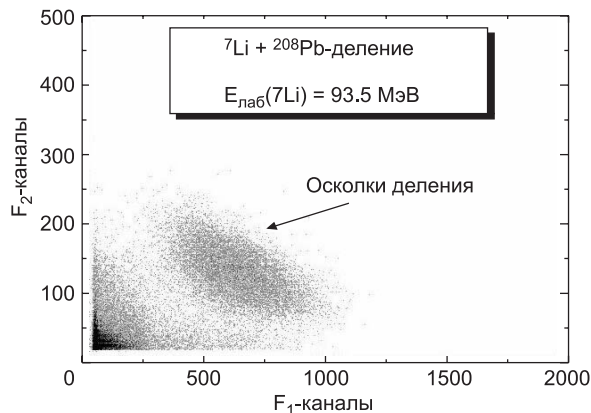


Рис. 7. Двумерная матрица выходов двух коррелированных продуктов реакции от их энергии (в каналах). Область, соответствующая образованию осколков деления, отчетливо отделяется от области других продуктов реакций

энергии. Совпадение двух осколков деления позволяло четко выделять процесс деления от других каналов реакции, как это показано на рис. 7.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 8 представлены экспериментальные функции возбуждения деления, полученные для исследуемых реакций ${}^4\text{He} + {}^{209}\text{Bi}$, ${}^6\text{He} + {}^{209}\text{Bi}$ и ${}^7\text{Li} + {}^{208}\text{Pb}$. На рис. 8, а представлена экспериментально измеренная в настоящей работе функция возбуждения для реакции ${}^4\text{He} + {}^{209}\text{Bi}$ в надбарьерной области энергий в сравнении с результатами исследований работы [2], полученными при энергии вблизи кулоновского барьера. На рис. 8, б и в представлены аналогичные зависимости для реакций ${}^6\text{He} + {}^{209}\text{Bi}$ и ${}^7\text{Li} + {}^{208}\text{Pb}$, соответственно, в широком диапазоне энергии налетающих ионов от кулоновского барьера до 200 МэВ. Заметим, что представленные функции возбуждения для исследуемых реакций были измерены впервые при столь высоких энергиях возбуждения.

Сравнительный анализ функций возбуждения для трех исследованных реакций ${}^4,6\text{He} + {}^{209}\text{Bi}$ и ${}^7\text{Li} + {}^{208}\text{Pb}$ показывает (рис. 9), что в пределах экспериментальных погрешностей эти функции имеют близкие значения сечений деления в широком диапазоне энергий возбуждения. Этот экспериментальный факт свидетельствует о том, что процесс деления в этих реакциях носит одинаковый характер, без проявления особенностей входного канала, и, вероятно, определяется только свойствами образовавшегося составного ядра At.

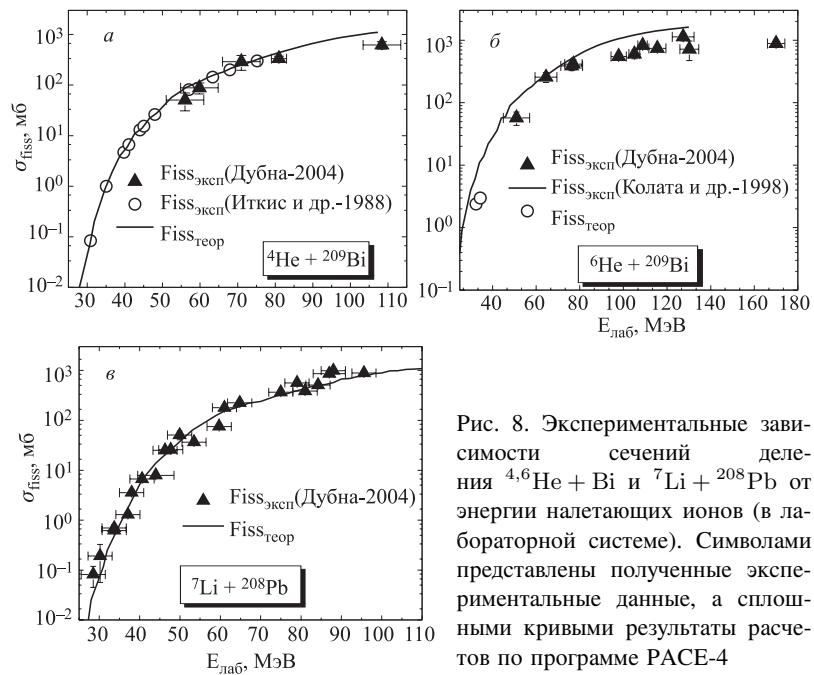


Рис. 8. Экспериментальные зависимости сечений деления ${}^4,6\text{He} + \text{Bi}$ и ${}^7\text{Li} + {}^{208}\text{Pb}$ от энергии налетающих ионов (в лабораторной системе). Символами представлены полученные экспериментальные данные, а сплошными кривыми результаты расчетов по программе RАСЕ-4

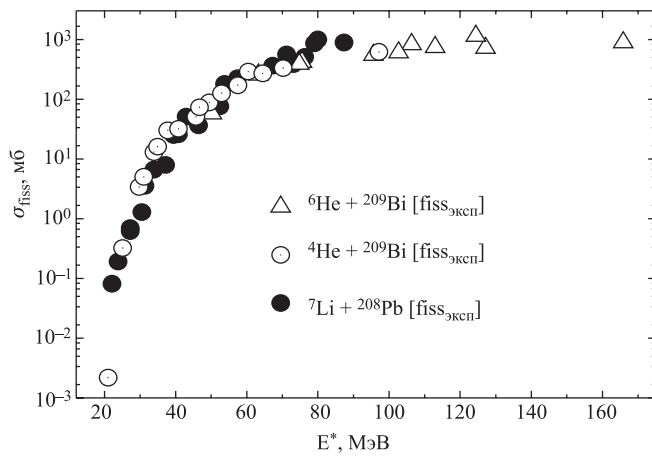
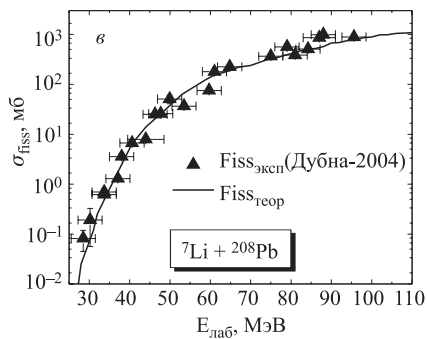


Рис. 9. Экспериментальные зависимости сечений деления от энергии возбуждения для реакций ${}^4,6\text{He} + \text{Bi}$ и ${}^7\text{Li} + {}^{208}\text{Pb}$

Нужно отметить, что нет также значительной разницы в делении высоковозбужденных составных ядер ${}^{213}\text{At}$ и ${}^{215}\text{At}$.

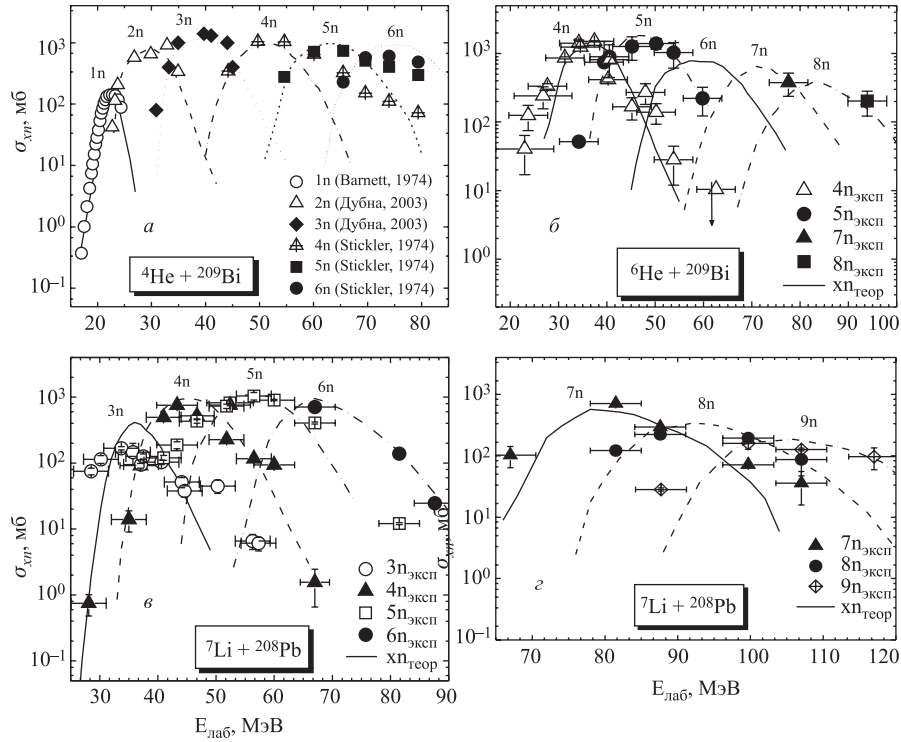


Рис. 10. Экспериментальные зависимости сечений образования испарительных остатков (xn -каналов) от энергии бомбардируемых ионов для реакций ${}^4\text{He} + \text{Bi}$ и ${}^7\text{Li} + {}^{208}\text{Pb}$. Кривыми представлены результаты расчетов с использованием программы PACE-4

Экспериментальные данные по измерению сечений образования испарительных остатков, представлены на рис. 10. Так, на рис. 10, *а* показаны измеренные функции возбуждения для $1n$ – $6n$ -каналов. Данные для $1n$ -канала заимствованы из работы [3], для каналов $5n$ – $6n$ из работы [4]. Данные для $2n$ – $4n$ -каналов измерены в настоящей работе. На рис. 10, *б* представлены полученные данные для $4n$ – $8n$ -каналов в реакции ${}^6\text{He} + {}^{209}\text{Bi}$. Все функции возбуждения для реакции ${}^7\text{Li} + {}^{208}\text{Pb}$, представленные на рис. 10, *в* и 10, *г*, получены впервые в настоящей работе.

Анализ измеренных функций возбуждения деления составных ядер и продуктов xn -каналов (т. е. остатков после испарения x -нейтронов) был проведен с использованием кода PACE-4 [5]. Результаты расчетов на основе этого кода представлены на рис. 8 и 10 в виде кривых. Видно, что удается получить удов-

летворительное описание экспериментальных данных для трех исследуемых реакций при близком наборе фитируемых параметров. Значения этих параметров приводятся для реакции с ${}^7\text{Li}$: радиус $r_0 = 1,3$ фм, максимальный угловой момент $l_{\text{max}} = 35$ и глубина потенциала $V_0 = 67$ МэВ. Для реакции ${}^6\text{He} + {}^{209}\text{Bi}$ были получены близкие по значению параметры $r_0 = 1,35$ фм, $l_{\text{max}} = 40$ и $V_0 = 45$ МэВ. Таким образом, подтверждается сделанный ранее вывод о том, что в исследуемых реакциях ${}^4\text{He} + {}^{209}\text{Bi}$, ${}^6\text{He} + {}^{209}\text{Bi}$ и ${}^7\text{Li} + {}^{208}\text{Pb}$ в надбарьерной области энергий возбуждения происходит образование и распад близких составных систем ${}^{213,215}\text{At}$ без проявления особенностей входного канала.

На основе измеренных функций возбуждения для деления и образования испарительных остатков были построены функции возбуждения сечений полного слияния. Эти результаты представлены на рис. 11. Анализ этих функций возбуждения был проведен с использованием модели «связанных каналов» и CCFULL-кода [6]. Этот метод позволял оценить вклад процессов развала налетающих ионов в поле ядра мишени с возможным последующим слиянием. Результаты расчетов сечений полного слияния по этой модели в зависимости от энергии (в с.ц.м.) показаны на рис. 11 кривыми. Видно, что экспери-

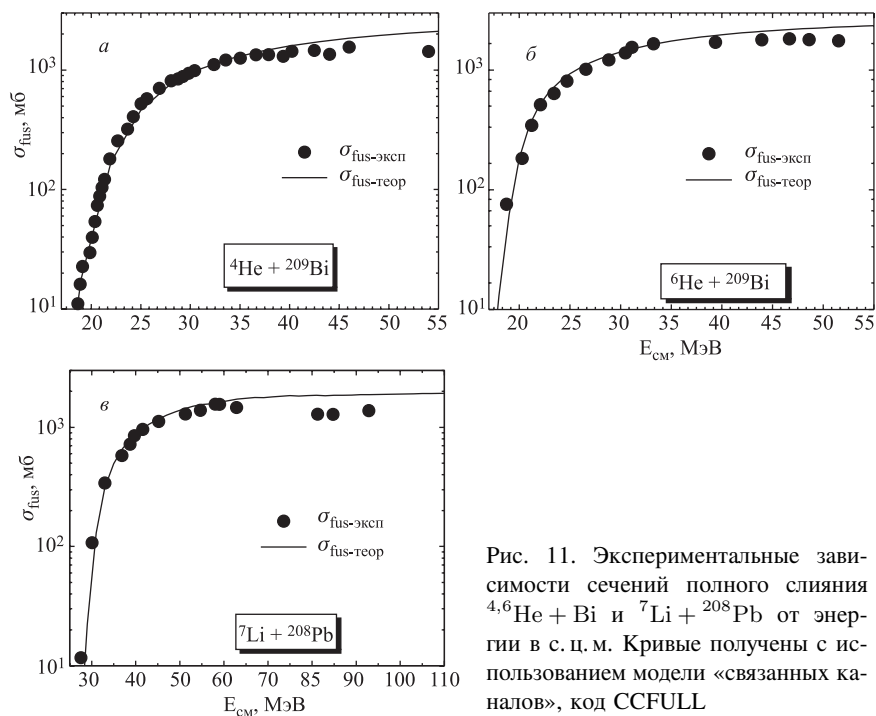


Рис. 11. Экспериментальные зависимости сечений полного слияния ${}^4,6\text{He} + \text{Bi}$ и ${}^7\text{Li} + {}^{208}\text{Pb}$ от энергии в с.ц.м. Кривые получены с использованием модели «связанных каналов», код CCFULL

ментальные значения сечений полного слияния для реакций ${}^6\text{He} + {}^{209}\text{Bi}$ и ${}^7\text{Li} + {}^{208}\text{Pb}$ при энергиях вдали от барьера имеют меньшие значения, чем расчетные, что составляет примерно одинаковую величину 78%. А при значениях энергии вблизи барьера экспериментальные значения сечения близки к расчетным. Вероятно, этот факт свидетельствует о том, что при больших энергиях возбуждения может иметь место процесс развала слабосвязанных ядер ${}^6\text{He}$ и ${}^7\text{Li}$, как указывалось выше. Возможным объяснением могут быть одинаковые процессы развала, имеющие место как в случае взаимодействия с ядрами пучка ${}^4\text{He}$, так и в случае слабосвязанных ядер, каковыми являются ${}^6\text{He}$ и ${}^7\text{Li}$. Существуют модели, на основании которых эти ядра можно представить как связанные системы из «кора» (${}^4\text{He}$) и двух нейтронов или тритона соответственно. Видимо, имеет место процесс развала налетающих ионов в поле ядра мишени с последующим слиянием кора с ядрами мишени и делением полученного составного ядра. Как показывают литературные данные, вклады процессов деления ядер Bi нейтронами [7] или Pb тритонами [8] малы, измеренные сечения этих реакций находятся на уровне мкб.

Для исключения влияния кулоновского барьера на процесс слияния функции возбуждения были построены в зависимости от величины $E_{\text{см}}/V_{\text{B}}$, где $E_{\text{см}}$ — значения энергии в системе центра масс, а V_{B} — кулоновский барьер для каждой системы. Эти функции даны для сранения на рис. 12. Из рисунка

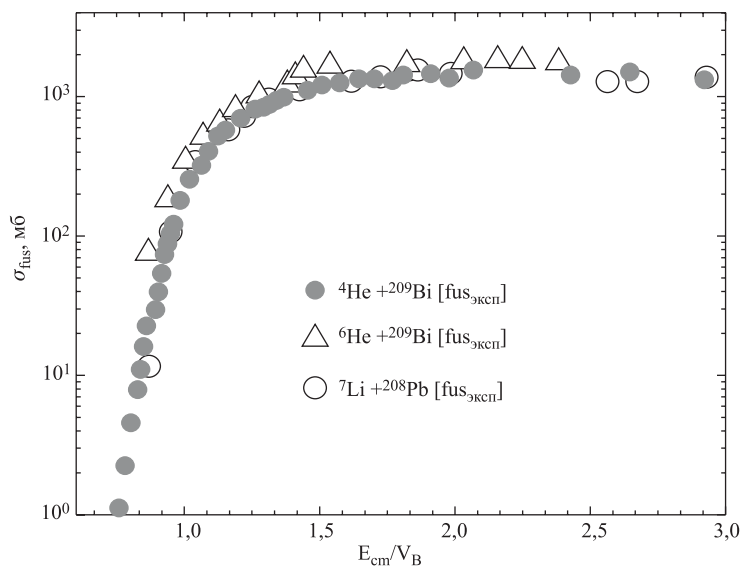


Рис. 12. Функции возбуждения для полного слияния в зависимости от величины $E_{\text{см}}/V_{\text{B}}$ для реакций ${}^4,6\text{He} + {}^{209}\text{Bi}$ и ${}^7\text{Li} + {}^{208}\text{Pb}$

видно, что в пределах экспериментальных погрешностей функции возбуждения для всех трех реакций одинаковы в широком диапазоне значений $E_{\text{см}}/V_{\text{В}}$.

В заключение можно отметить следующее.

Проведены измерения сечений деления и сечений образования испарительных остатков $3n-9n$ в реакциях взаимодействия ядер ${}^7\text{Li}$ с ядрами мишени ${}^{208}\text{Pb}$ при энергиях ${}^7\text{Li}$ 50–117 МэВ;

Проведены измерения сечений деления и сечений образования испарительных остатков $3n-9n$ в реакциях взаимодействия ${}^6\text{He}$ с ${}^{209}\text{Bi}$ при энергиях ${}^6\text{He}$ 50–140 МэВ;

Измерены сечения деления и $2n-3n$ испарительных каналов в реакции ${}^4\text{He}$ с ядрами мишени из ${}^{209}\text{Bi}$ при энергиях ${}^4\text{He}$ в диапазоне 20–110 МэВ. Показано, что в пределах экспериментальных погрешностей функции возбуждения деления и полного слияния для трех исследованных реакций ${}^4\text{He} + {}^{209}\text{Bi}$, ${}^6\text{He} + {}^{209}\text{Bi}$ и ${}^7\text{Li} + {}^{208}\text{Pb}$ имеют близкие значения в широком диапазоне энергий возбуждения.

С точки зрения механизма ядерных реакций (образования составного ядра и процессов развала), вызванных слабосвязанными ядрами, проведен анализ экспериментально измеренных функций возбуждения слияния и деления для исследуемых реакций ${}^4\text{He} + {}^{209}\text{Bi}$, ${}^6\text{He} + {}^{209}\text{Bi}$ и ${}^7\text{Li} + {}^{208}\text{Pb}$. Близкие значения сечений этих процессов свидетельствуют о том, что в исследуемых реакциях происходит образование практически одинаковых составных систем ${}^{213,215}\text{At}$ без проявления особенностей входных каналов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (01-02-22001), INTAS (00-00463), а также грантами Полномочных представителей Болгарии и Чехии в ОИЯИ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Dasgupta M. et al.* // Ann. Rev. Nucl. Part. Sci. 1998. V.48. P.401.
2. *Itkis M. G. et al.* // Particles and Nuclei (Russian). 1988. V. 19. P. 701.
3. *Barnett A. R., Lilley J. S.* // Phys. Rev. C. 1974. V.9. P.2010.
4. *Stichler J. D., Hofstetter K. J.* // Phys. Rev. C. 1974. V.9. P.3.
5. <http://dnr080.jinr.ru/lise/>
6. <http://nrv.jinr.ru/nrv/>
7. *Eismont V. P. et al.* // Phys. Rev. C. 1996. V. 53. P.2911–2918.
8. *Häusser O. et al.* // Phys. Lett. B. 1972. V. 38. P. 75.

Получено 17 августа 2004 г.

Редактор *М. И. Зарубина*
Макет *Н. А. Киселевой*

Подписано в печать 30.09.2004.
Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 0,75. Уч.-изд. л. 0,94. Тираж 300 экз. Заказ № 54618.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.
E-mail: publish@pds.jinr.ru
www.jinr.ru/publish/