

P7-2006-10

Р. Калпакчиева, В. А. Маслов, Р. А. Астабатьян,  
А. А. Кулько, С. М. Лукьянов, Э. Р. Маркарян,  
Ю. Ц. Оганесян, Ю. Э. Пенионжкевич, Н. К. Скобелев,  
Ю. Г. Соболев

ИМПУЛЬСНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЯДЕР  ${}^4\text{He}$   
ИЗ РАЗВАЛА  ${}^6\text{He}$  И  ${}^6\text{Li}$

Направлено в журнал «Ядерная физика»

Калпакчиева Р. и др.

P7-2006-10

Импульсное распределение ядер  ${}^4\text{He}$  из развала  ${}^6\text{He}$  и  ${}^6\text{Li}$

Представлены экспериментально измеренные импульсные распределения  ${}^4\text{He}$ , полученные из развала  ${}^6\text{He}$  и  ${}^6\text{Li}$  на различных ядрах мишени в широком диапазоне энергии. Эксперимент по изучению  ${}^6\text{He}$  проводился на ускорительном комплексе DRIBs ОИЯИ. Интенсивность пучка  ${}^6\text{He}$  составляла  $5 \cdot 10^6 \text{ c}^{-1}$ , энергия 10 МэВ/А. Импульсные распределения продуктов развала измерялись с помощью магнитного спектрометра МСП-144. Показано, что ширина распределений не зависит от мишени, а ее малое значение  $\sigma \sim 28 \text{ МэВ/с}$  подтверждает наличие гало у  ${}^6\text{He}$ . Эксперимент по изучению  ${}^6\text{Li}$  проводился на ускорителе У-400М при энергии пучка 18 и 46 МэВ/А. Получена промежуточная ширина импульсных распределений  $\sigma \sim 50 \text{ МэВ/с}$  — шире, чем у  ${}^6\text{He}$ , но уже, чем в случае обычных ядер. В работе представлена систематика ширин импульсных распределений фрагментов развала различных ядер в зависимости от энергии связи одного или двух нейтронов в этих ядрах, а также от массы мишени и энергии ионов.

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

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2006

Kalpakchieva R. et al.

P7-2006-10

Momentum Distributions of  ${}^4\text{He}$  Nuclei from the Breakup of  ${}^6\text{He}$  and  ${}^6\text{Li}$

Experimental momentum distributions are presented for He fragments from the breakup of  ${}^6\text{He}$  and  ${}^6\text{Li}$  beams on different target nuclei in a wide energy range. The experiment with  ${}^6\text{He}$  was carried out at the accelerator complex for radioactive beams (DRIBs) at JINR. The beam intensity was  $5 \cdot 10^6 \text{ pps}$ , the energy 10 MeV/A. The momentum distributions were measured with the magnetic spectrometer MSP-144. It has been shown that the distribution width practically does not depend on the target. Its small value,  $\sigma \sim 28 \text{ MeV}/c$ , confirms the presence of a halo in  ${}^6\text{He}$ . The measurements with the  ${}^6\text{Li}$  beam were performed at the U400M accelerator at 18 and 46 MeV/A. A value of  $\sigma \sim 50 \text{ MeV}/c$ , intermediate between that for  ${}^6\text{He}$  and ordinary stable nuclei, was obtained for the width of the momentum distribution of the  ${}^4\text{He}$  fragments. A compilation is made of momentum distribution widths as a function of nucleon separation energy, target mass and projectile energy.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2006

## ВВЕДЕНИЕ

С появлением интенсивных пучков тяжелых ионов стало возможным в реакциях фрагментации ядер первичного пучка формировать и использовать в физических экспериментах вторичные пучки радиоактивных ядер. Это направление ядерной физики развивается уже более 15 лет и показало, что является перспективным для изучения экзотических ядер. В реакциях с радиоактивными ядрами можно изучать как механизм реакций, вызванных ими, так и их структуру. Новая информация о структуре ядер была получена путем измерения таких экспериментальных величин, как сечения взаимодействия, импульсные распределения и корреляции между продуктами развала исследуемых ядер. В результате таких экспериментов были сделаны важные открытия, например, обнаружение нейтронного гало в  $^{11}\text{Li}$  и  $^{11,14}\text{Be}$  [1, 2], синтез новых супернейтроноизбыточных ядер ( $^{10}\text{He}$ ,  $^7\text{H}$  [3] и др.). В работе [4] для ядер  $^3\text{He}$ ,  $^4\text{He}$ ,  $^6\text{He}$  и  $^8\text{He}$  на основании измеренных сечений взаимодействия были определены среднеквадратичные радиусы распределения нуклонов в этих ядрах и обнаружено большее увеличение радиусов, чем это ожидалось в соответствии со стандартным приращением радиуса по систематике ( $\sim A^{1/3}$ ). Это позволило рассматривать  $^6\text{He}$  и  $^8\text{He}$  как галоидальные ядра.  $^6\text{He}$  — это самое легкое ядро с гало, состоящее из кора ( $\alpha$ -частицы) плюс два валентных нейтрона (порог развала  $^6\text{He} \rightarrow ^4\text{He} + n + n$  равен  $E_{\text{пор}} = 0,973$  МэВ). Нужно заметить, что получение точных значений радиусов является важной задачей, поскольку информация о величине радиуса необходима при создании теоретических моделей для описания ядер с гало. В принципе, информацию о размере экзотического ядра можно получить из импульсных распределений продуктов (ядра-кора и валентных нейтронов), образовавшихся при развале этого ядра.

Два нейтрона в ядре  $^6\text{He}$  достаточно удалены от кора  $^4\text{He}$  и находятся на внешней оболочке. Кор  $^4\text{He}$  и нейтроны совершают колебательные движения внутри ядерной системы  $^6\text{He}$  в поле действия ядерных сил. Если эти силы будут меньше, то и частота колебаний будет ниже, а амплитуда (радиус) больше, и импульсное распределение получится уже, чем для обычных ядер. Если у  $^6\text{He}$  достаточно быстро оторвать два нейтрона, то кор  $^4\text{He}$  будет продолжать двигаться так же, как он двигался внутри ядерной системы. Измеряя его импульсное распределение, мы получаем информацию о структуре  $^6\text{He}$ .

Измерению импульсного распределения фрагментов при развале различных легких экзотических ядер, в том числе  ${}^6,8\text{He}$ ,  ${}^{11}\text{Li}$ ,  ${}^{11,14}\text{Be}$  и др., посвящено много работ. В работе [2] впервые было измерено распределение поперечного импульса  ${}^9\text{Li}$  при фрагментации  ${}^{11}\text{Li}$ . Оно оказалось состоящим из двух компонент: широкой, соответствующей значениям для фрагментации обычных ядер, и узкой (уже, чем предполагалось в модели Гольдхабера [5]). В соответствии с принципом неопределенности Гейзенберга был сделан вывод о том, что малое значение ширины распределения указывает на то, что удаленные валентные нейтроны обладают малой импульсной флуктуацией, которая связана с протяженным распределением плотности нейтронов в гало. Таким образом, большой радиус и узкое импульсное распределение были первыми признаками существования нейтронного гало в ядрах вблизи границы стабильности.

Фрагментация ядер пучка  ${}^6\text{He}$  при энергиях около 400 и 800 МэВ/А изучалась в работах [2, 6, 7], в которых были измерены импульсные распределения как ядер  ${}^4\text{He}$ , так и нейтронов из развала  ${}^6\text{He}$  на мишенях из углерода и свинца. Было показано, что последовательный развал  ${}^6\text{He}$  на  ${}^4\text{He}$  через промежуточный резонанс  ${}^5\text{He}$  является доминирующим механизмом при фрагментации  ${}^6\text{He}$ . В работе [8] лучшее описание экспериментальных данных было получено в предположении, что имеет место механизм взаимодействия одного нейтрона с ядром мишени, а также  $\alpha$ - $n$ -взаимодействия в конечном состоянии, соответствующем резонансу  ${}^5\text{He}_{g.s.}$

Изучение структуры  ${}^6\text{He}$  с помощью импульсных распределений ядра-кора  ${}^4\text{He}$  или нейтронов проводилось различными научными группами. Энергия вторичных пучков  ${}^6\text{He}$ , используемых в этих экспериментах, составляла от 24 до 800 МэВ/А. В качестве мишеней использовались H, C, Al, Cu, Sn, Au, Pb и U [2, 6, 7, 9–14]. Применение легких и тяжелых мишеней позволило сравнить вклад кулоновской и ядерной диссоциации. Большая часть экспериментов показала, что ширина импульсного распределения ( $\sigma$  — параметр гауссовского распределения) практически не зависит от мишени или энергии пучка и имеет значение около 32–44 МэВ/с, что заметно меньше, чем для обычных ядер ( $\sim 100$  МэВ/с). Практически во всех случаях ширины распределений нейтронов оказались несколько уже, чем ширины для  ${}^4\text{He}$ . Сильно различались лишь ширины импульсных распределений (65 и 56 МэВ/с) для мишени  ${}^{12}\text{C}$  при энергиях 240 и 790 МэВ/А соответственно [2, 13]. Необходимо отметить, что в этих экспериментах использовался пучок  ${}^6\text{He}$  с относительно большим энергетическим разбросом (до 6%), а также низким эмиттансом [15].

Эти результаты, связанные с механизмом взаимодействия экзотических ядер, являются чрезвычайно важными для понимания их структуры, а также для их использования в ядерных реакциях. Поэтому подобные эксперименты легли в основу физических обоснований проектов ускорительных комплексов

радиоактивных пучков, в том числе и для DRIBs в Дубне [16]. В связи с этим нам представлялось интересным провести измерения распределения импульса фрагментов от развала  ${}^6\text{He}$  при энергиях ниже 20 МэВ/А, где роль конкурирующих процессов будет значительно меньше.

В настоящей работе представлены результаты измерения ширин распределения продольного импульса тяжелого фрагмента ( ${}^4\text{He}$ ) при развале  ${}^6\text{He}$ , полученного на ускорительном комплексе радиоактивных пучков DRIBs [16] в ЛЯР ОИЯИ при энергии 12 МэВ/А.

## 1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕТОДИКА

Запуск ускорительного комплекса радиоактивных пучков DRIBs в конце 2004 г. позволил получить пучки  ${}^6\text{He}$  с интенсивностью  $5 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$  и с хорошим энергетическим разрешением ( $\sim 1\%$ ). Энергия пучка  ${}^6\text{He}$  составляла  $E = 60,3 \pm 0,4 \text{ МэВ}$ . Метод получения пучка подробно описан в работе [17]. Оптимизация режима ускорения и транспортировки пучка позволила, без дополнительной коллимации, получить пучок на физической мишени размером  $7 \times 8 \text{ мм}$ . Энергия пучка  ${}^6\text{He}$  измерялась с помощью магнитного спектрометра МСП-144 [18] (рис. 1).

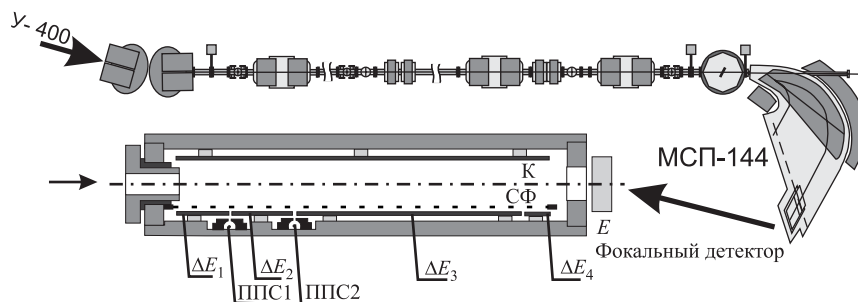


Рис. 1. Схема экспериментальной установки с магнитным спектрометром МСП-144. Обозначения для фокального детектора: К — катод, СФ — сетка Фриша,  $\Delta E_1$ ,  $\Delta E_2$ ,  $\Delta E_3$  и  $\Delta E_4$  — электроды анода,  $E$  — сцинтилляционный детектор. ППС1 и ППС2 — пропорциональные счетчики

Измерения импульсных распределений  ${}^4\text{He}$ , полученного из развала  ${}^6\text{He}$  при взаимодействии с ядрами золота и углерода, проводились с помощью магнитного спектрометра МСП-144 (рис. 1). Эксперимент проводился под углом  $0^\circ$ .

В фокальной плоскости магнита располагался фокальный детектор — ионизационная камера с сегментированным анодом и двумя однопроволочными пропорциональными позиционно-чувствительными счетчиками (ППС1,

ППС2) для измерения места попадания заряженных частиц на фокальную плоскость. За ионизационной камерой был расположен сцинтилляционный детектор для регистрации длиннопробежных частиц.

Место попадания продуктов реакции на фокальную плоскость измерялось первым пропорциональным счетчиком ППС1 и определялось с точностью не хуже 0,7 мм. Позиция определялась методом деления заряда, собираемого на нити. Идентификация ядер проводилась с помощью  $\Delta E$ - $E$ -метода. Зная позицию попадания частицы ( $x$ ) и магнитное поле ( $B$ ), с помощью формул

$$E = k (B x)^2 \frac{Z^2}{A}, \quad P = \sqrt{2 E A \cdot 940} \quad (1)$$

мы вычисляли импульс.

Магнитное поле в спектрометре определялось методом ядерного магнитного резонанса (ЯМР). Стабилизация магнитного поля была лучше  $10^{-4}$ . С помощью сканирования по магнитному полю были получены импульсные распределения  ${}^4\text{He}$  от развала  ${}^6\text{He}$  при энергии 60 МэВ.

Поскольку представляется интересным сравнить ядро  ${}^6\text{He}$  с его изобаром  ${}^6\text{Li}$ , изучались также импульсные распределения фрагмента  ${}^4\text{He}$ , полученного из развала  ${}^6\text{Li}$ . Измерения проводились с помощью двух методик. В первом случае пучок  ${}^6\text{Li}$  проходил через многослойный полупроводниковый телескоп, роль мишени в котором играл один из полупроводниковых детекторов. Идентифицировав с помощью  $\Delta E$ - $E$ -метода прохождение  ${}^6\text{Li}$  до мишени и обнаружив на выходе  ${}^4\text{He}$ , мы определяли импульсное распределение  ${}^4\text{He}$ . Энергия  ${}^6\text{Li}$  в этом эксперименте была 109 МэВ. Во втором случае был использован магнитный анализ. Это измерение проводилось при энергии 46 МэВ/А.

## 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Для измерения импульсных распределений продуктов развала  ${}^6\text{He}$  использовались две мишени, тяжелая (золото) и легкая (углерод). Мишени выбирались исходя из того, что механизм развала различается — на тяжелых ядрах он происходит в основном под действием кулоновских сил, а на легких — под действием ядерных. В результате эксперимента были измерены распределения параллельной составляющей импульса  ${}^4\text{He}$ , полученного при развале  ${}^6\text{He}$  на ядрах золота и углерода. Измерение продольного импульса в случае тяжелой мишени исключает вклад от кулоновского отклонения, как это имеет место при измерении поперечного импульса, так как продольный импульс не чувствителен к дифракционному уширению и отражает лишь связь фрагмента в ядре [19]. Результаты измерений представлены на рис. 2 и 3. Полученные распределения описывались функциями Гаусса. Как видно из

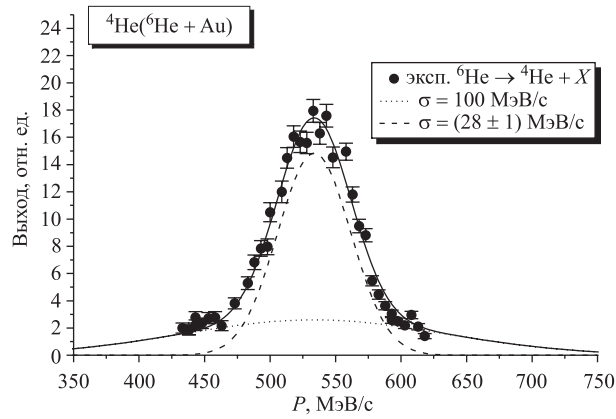


Рис. 2. Импульсное распределение  ${}^4\text{He}$ , полученного из развала  ${}^6\text{He}$  на ядрах золота при энергии 10 МэВ/А

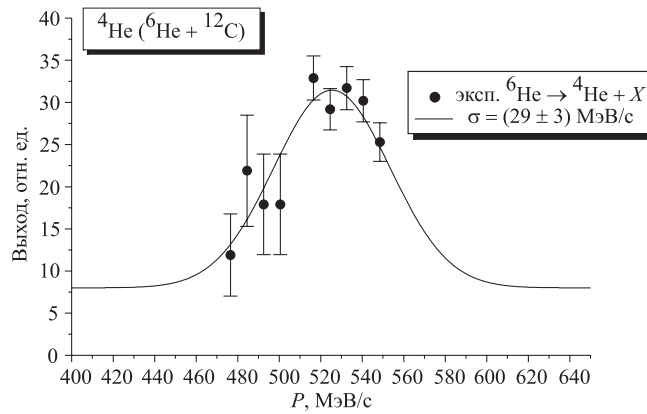


Рис. 3. Импульсное распределение  ${}^4\text{He}$ , полученного из развала  ${}^6\text{He}$  на ядрах углерода при энергии 10 МэВ/А

рисунков, наблюдаются узкие импульсные распределения ( $\sigma = 28\text{--}29$  МэВ/с). Если бы  ${}^6\text{He}$  был обычным, не галоидальным ядром, то эта величина должна составлять около 100 МэВ/с [5]. Малая ширина импульсного распределения подтверждает экзотичность ядра  ${}^6\text{He}$  и наличие в нем гало (или шубы). Мы попытались оценить вклад широкой компоненты в случае развала  ${}^6\text{He}$  на мишени Au. С этой целью распределение раскладывалось на две ком-

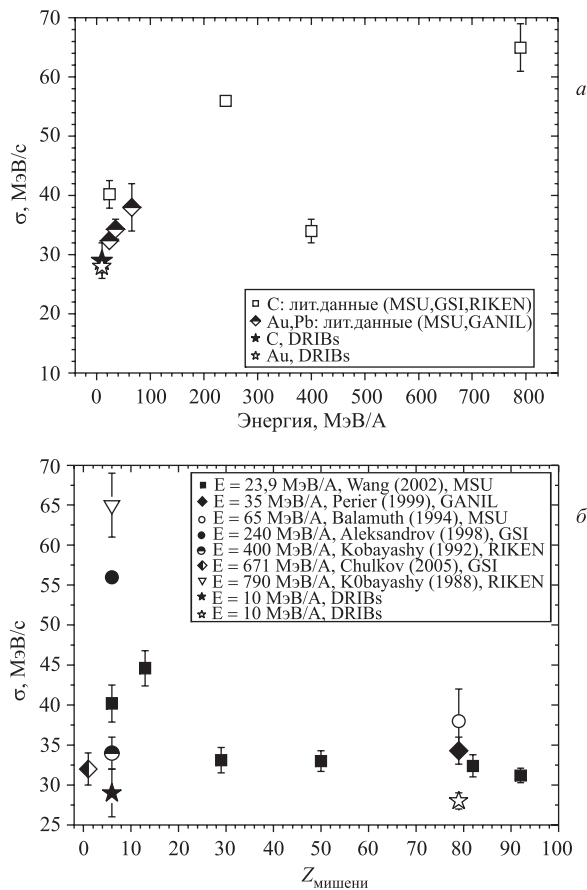


Рис. 4. Ширины импульсных распределений  ${}^4\text{He}$ , полученного из развала  ${}^6\text{He}$ : а) на ядрах углерода, золота и свинца как функция энергии на нуклон; б) в зависимости от атомного номера мишени [2, 6, 9–11, 13, 14]. ★, ☆ — данные настоящей работы

поненты. Для широкой компоненты использовалась фиксированная ширина ( $\sigma = 100$  Mev/c) и положение центра, а варьировалась только амплитуда. Для узкой компоненты варьировались все параметры функции Гаусса. Получилось, что вклад широкой и узкой компонент приблизительно одинаков, что согласуется с данными работы [6]. Результат показан на рис. 2. Между тем набрать хорошую статистику по импульсному распределению  ${}^4\text{He}$ , образуемого из развала  ${}^6\text{He}$  на  ${}^{12}\text{C}$ , не удалось. Это можно объяснить тем, что сечение процесса развала под действием ядерных сил значительно меньше, чем под действием кулоновских. В данном случае значение ширины определено с большей ошибкой (рис. 3).



На рис. 4 показана систематика ширин ( $\sigma$ ) импульсных распределений фрагмента  ${}^4\text{He}$  как продукта развала  ${}^6\text{He}$ , полученных в различных работах на разных мишенях и при разных энергиях. Включены также результаты настоящей работы ( $\star$ ,  $\star$ ) — они находятся в хорошем согласии с большинством известных литературных данных.

Видно также, что ширина распределения импульса  ${}^4\text{He}$  слабо зависит от атомного номера мишени (исключение составляют работы [2, 13]). Такая же ситуация имела место и при измерении ширин распределения продольного импульса фрагментов развала других нейтроноизбыточных ядер (см., например, работу [20]). Таким образом, можно прийти к заключению, что ширина импульсного распределения мало отличается при взаимодействии с легкими и тяжелыми мишенями, т. е. не зависит от атомного номера мишени или, что то же самое, от взаимодействия, вызывающего развал. К такому же выводу можно прийти и для энергетической зависимости импульсного распределения.

Импульсные распределения ядер  ${}^4\text{He}$ , полученных из развала  ${}^6\text{Li}$  на мишенях из Si, Ta и Вe, изучались при энергиях 18 и 46 МэВ/А. На рис. 5

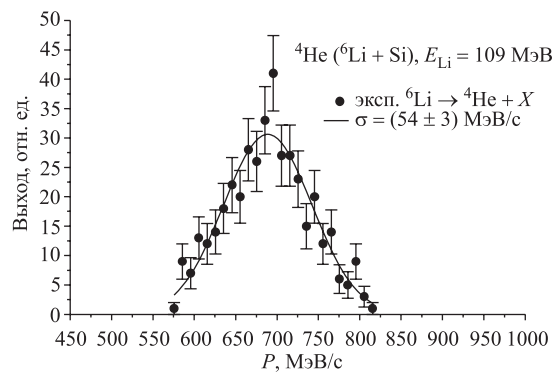


Рис. 5. Импульсное распределение ядра  ${}^4\text{He}$ , полученного из развала  ${}^6\text{Li}$  на ядрах кремния при энергии 109 МэВ

показаны данные, полученные с помощью методики многослойных полупроводниковых телескопов, а на рис. 6 и 7 — с помощью магнитного анализа.

Измеренные распределения раскладывались на функции Гаусса, и для их ширин были получены значения в пределах  $\sigma \sim 46\text{--}55$  МэВ/с, что является промежуточным значением по отношению к ширинам распределений от развала  ${}^6\text{He}$  и обычных ядер, причем эта ширина мало зависит от энергии пучка и методики измерения. Если бы  ${}^6\text{Li}$  был обычным ядром, то эта величина была бы порядка 100 МэВ/с [5]. Ядро  ${}^6\text{Li}$  не является сильносвязанным,

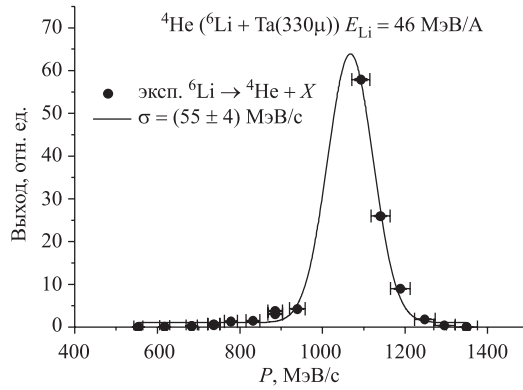


Рис. 6. Импульсное распределение  ${}^4\text{He}$ , полученного из развала  ${}^6\text{Li}$  на ядрах тантала при энергии 46 МэВ/А

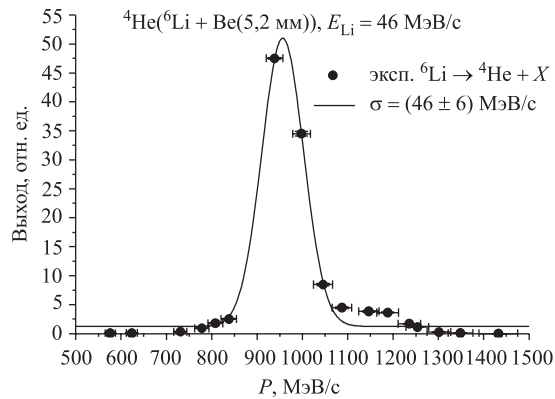


Рис. 7. Импульсное распределение  ${}^4\text{He}$ , полученного из развала  ${}^6\text{Li}$  на ядрах бериллия при энергии 46 МэВ/А

как обычные ядра. Считается, что  ${}^6\text{Li}$  имеет  $\alpha + d$ -кластерную структуру и энергия развала  ${}^6\text{Li} \rightarrow {}^4\text{He} + d$  равна 1,474 МэВ [21]. Вместе с тем имеются экспериментальные данные о том, что в  ${}^6\text{Li}$  уровень  $0^+$  (3,563 МэВ), являющийся изобар-аналогом основному состоянию  ${}^6\text{He}$ , имеет характер протон-нейтронного гало, т.е. гало, состоящего из нейтрона и протона помимо  $\alpha$ -частицы [22]. Этот уровень расположен ниже трехтельного  $\alpha + p + n$  порога развала (3,699 МэВ) всего на 136 кэВ [21]. Такое свойство возбужденного

состояния  ${}^6\text{Li}$  было предсказано в работе [23]. Эти факторы могут явиться причиной наблюдаемой ширины импульсного распределения тяжелого фрагмента ( ${}^4\text{He}$ ), образованного при развале  ${}^6\text{Li}$ . При замене одного протона на нейтрон у  ${}^6\text{Li}$ , т.е. при переходе от  ${}^6\text{Li}$  к  ${}^6\text{He}$ , мы наблюдаем резкое сужение импульсного распределения испущенных  $\alpha$ -частиц, а следовательно, и увеличение радиуса ядра.

На рис. 8 представлена систематика ширин импульсных распределений фрагментов из развала различных ядер в зависимости от энергии связи одного или двух нейтронов в этих ядрах. Видно, что наблюдается плавное увеличе-

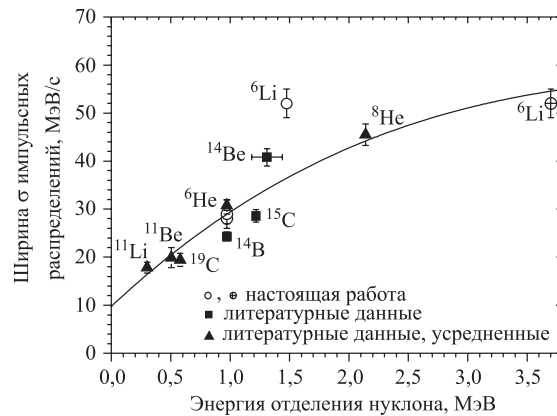


Рис. 8. Ширины  $\sigma$  импульсных распределений фрагментов развала различных ядер в зависимости от энергии связи одного или двух нейтронов в этих ядрах [2, 6, 14, 15, 24–26]. Литературные данные для  ${}^6,8\text{He}$ ,  ${}^{11}\text{Li}$ ,  ${}^{11}\text{Be}$  и  ${}^{19}\text{C}$  усреднены. Открытые символы — результаты настоящей работы. Значение для  ${}^6\text{Li}$ :  $\circ$  — при пороге испускания дейтрона,  $\oplus$  — при пороге испускания нейтрона плюс протона. Сплошная линия — результат фитирования полиномом третьей степени

ние ширины с ростом энергии связи. Для  ${}^6\text{Li}$  значение  $\sigma$  представлено для ( ${}^6\text{Li} \rightarrow {}^4\text{He} + d$ )-порога ( $\circ$ ), а также для ( ${}^6\text{Li} \rightarrow {}^4\text{He} + n + p$ )-порога ( $\oplus$ ). В последнем случае значение  $\sigma$  согласуется с тенденцией роста  $\sigma$  для остальных ядер. Таким образом, есть основание полагать, что это также отражает ( $n - p$ )-гало для  $0^+$  (3,563 МэВ) уровня  ${}^6\text{Li}$ .

В итоге в таблице представлены значения ширин импульсного распределения  ${}^4\text{He}$ , образованного из развала  ${}^6\text{He}$  и  ${}^6\text{Li}$ , полученные в настоящей работе и в работах других авторов.

Данные по ширинам импульсных распределений фрагментов развала ( $^4\text{He}$  или нейтрона) ядра  $^6\text{He}$  на разных мишенях в широком диапазоне энергий

Ион	$E$ , МэВ/А	Мишень	$\sigma(^4\text{He}) / \sigma(n)$ , МэВ/с	Фрагмент ( $\alpha$ или $n$ )	Литература
$^6\text{He}$	23,9	C	$40,2 \pm 2,3$	$\alpha$	[9]
		Al	$44,6 \pm 2,2$	$\alpha$	
		Cu	$33,1 \pm 1,6$	$\alpha$	
		Sn	$33,0 \pm 1,3$	$\alpha$	
		Pb	$32,4 \pm 1,4$	$\alpha$	
		U	$31,2 \pm 0,9$	$\alpha$	
		C	$26,9 \pm 2,2$	$n$	
		Al	$24,7 \pm 1,4$	$n$	
		Cu	$21,9 \pm 1,5$	$n$	
		Sn	$23,0 \pm 1,3$	$n$	
	Pb	$19,8 \pm 1,2$	$n$		
	U	$19,5 \pm 1,0$	$n$		
	35	Au	$34,3 \pm 1,7$	$\alpha$	[10]
		Au	$29,5 \pm 1,5$	$n$	
	65	Au	$38 \pm 4$	$\alpha$	[11]
	240	C	$56,0 \pm 0,2$	$\alpha$	[13]
400	C	$34 \pm 2$	$\alpha$	[6]	
671	H	$32 \pm 2$	$\alpha$	[14]	
790	C	$65 \pm 4$	$\alpha$	[2]	
800	C	$\approx 32 \pm 1$	$n$	[7]	
	Pb	$\approx 30 \pm 1$	$n$		
10	C	$29 \pm 3$	$\alpha$	Настоящая работа	
	Au	$28 \pm 1$	$\alpha$		
$^6\text{Li}$	18,2	Si	$54 \pm 3$	$\alpha$	Настоящая работа
	46	Be	$46 \pm 6$	$\alpha$	
		Ta	$55 \pm 4$	$\alpha$	

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, можно отметить, что в рамках проекта DRIBs на физической мишени получен пучок  $^6\text{He}$  с интенсивностью  $5 \cdot 10^6 \text{ c}^{-1}$  и  $dp/p = 0,5\%$ .

Измеренные импульсные распределения  $^4\text{He}$ , полученного из развала  $^6\text{He}$  на ядрах золота и углерода, показали, что ширина данных распределений слабо зависит от атомного номера мишени и энергии пучка, а ее малое значение ( $\sigma \sim 28 \text{ МэВ/с}$ ) подтверждает наличие гало у  $^6\text{He}$ .

Измеренные при энергиях 18 и 46 МэВ/А импульсные распределения  $^4\text{He}$ , полученного из развала  $^6\text{Li}$  на ядрах кремния, тантала и бериллия, показали,

что ширина импульсных распределений  $\sigma \sim 50$  МэВ/с шире, чем у  ${}^6\text{He}$ , но уже, чем в случае обычных ядер.

В заключение авторы выражают благодарность коллективу отдела ускорителей во главе с Г. Г. Гульбекином за получение интенсивного пучка  ${}^6\text{He}$  на ускорительном комплексе DRIBs. Мы благодарны М. Г. Иткису, С. Н. Дмитриеву за поддержку настоящей работы и В. И. Загребаеву за полезные дискуссии в процессе выполнения работы.

Настоящая работа была выполнена при поддержке грантов INTAS № 00-00463 и РФФИ № 04-02-17372, а также грантов полномочных представителей Чешской Республики, Республики Польши и Республики Болгарии в ОИЯИ.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Tanihata I. et al.* // Phys. Rev. Lett. 1985. V. 55. P. 2676;  
*Tanihata I. et al.* // Phys. Lett. B. 1988. V. 206. P. 592;  
*Kobayashi T. et al.* // Phys. Lett. B. 1989. V. 232. P. 51.
2. *Kobayashi T. et al.* // Phys. Rev. Lett. 1988. V. 60. P. 2599.
3. *Korshennikov A. A. et al.* // Phys. Lett. B. 1994. V. 326. P. 31.
4. *Tanihata I. et al.* // Phys. Lett. B. 1985. V. 160. P. 380.
5. *Goldhaber A. S.* // Phys. Lett. B. 1974. V. 53. P. 306.
6. *Kobayashi T.* // Nucl. Phys. A. 1992. V. 538. P. 343c.
7. *Kobayashi T.* // Nucl. Phys. A. 1993. V. 553. P. 465c.
8. *Korshennikov A. A., Kobayashi T.* // Nucl. Phys. A. 1994. V. 567. P. 97.
9. *Wang J. et al.* // Phys. Rev. C. 2002. V. 65. P. 034306.
10. *Perier Y. et al.* // Phys. Lett. B. 1999. V. 459. P. 55.
11. *Balamuth D. P. et al.* // Phys. Rev. Lett. 1994. V. 72. P. 2355.
12. *Kobayashi T.* // Nucl. Phys. A. 1997. V. 616. P. 223.
13. *Aleksandrov D. et al.* // Nucl. Phys. A. 1998. V. 633. P. 234.
14. *Chulkov L. V. et al.* // Nucl. Phys. A. 2005. V. 759. P. 43.
15. *Orr N. A.* // Nucl. Phys. A. 1997. V. 616. P. 155c.
16. *Oganessian Yu. Ts., Gulbekian G. G.* // Proc. of the Int. Conf. «Nuclear Shells — 50 Years», Dubna, 1999 / Eds. Yu. Ts. Oganessian and R. Kalpakchieva. World Scientific, Singapore, 2000. P. 61.

17. *Пенионжжевич Ю. Э.* Препринт ОИЯИ Р7-2005-106. Дубна, 2005.
18. *Skobelev N. K. et al.* // Nucl. Instr. Meth. B. 2005. V. 227. P. 471.
19. *Orr N. A. et al.* // Phys. Rev. Lett. 1992. V. 69. P. 2050.
20. *Kelley J. H. et al.* // Phys. Rev. Lett. 1995. V. 74. P. 30.
21. *Tilley D. R. et al.* // Nucl. Phys. A. 2002. V. 708. P. 3.
22. *Zhihong Li et al.* // Phys. Lett. B. 2002. V. 527. P. 50.
23. *Arai K. et al.* // Phys. Rev. C. 1995 V. 51. P. 2488.
24. *Zahar M. et al.* // Phys. Rev. C. 1993. V. 48. P. R1484.
25. *Bazin D. et al.* // Phys. Rev. C. 1998. V. 57. P. 2156.
26. *Maddalena V. et al.* // Phys. Rev. C. 2001. V. 63. P. 024613.

Получено 1 февраля 2006 г.

Редактор *Е. В. Сабаева*

Подписано в печать 24.04.2006.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,88. Уч.-изд. л. 1,07. Тираж 310 экз. Заказ № 55293.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований  
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: [publish@pds.jinr.ru](mailto:publish@pds.jinr.ru)

[www.jinr.ru/publish/](http://www.jinr.ru/publish/)