

УДК 539.1.073.7

ПРИМЕНЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ЭМУЛЬСИИ ДЛЯ ПОИСКА СОСТОЯНИЯ ХОЙЛА В ДИССОЦИАЦИИ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕР ^{12}C

© 2017 г. А. А. Зайцев^{а, б}, П. И. Зарубин^{а, б, *}

^аЛаборатория физики высоких энергий им. В.И. Векслера и А.М. Балдина
Объединенного института ядерных исследований, Дубна, Россия

^бФизический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, Москва, Россия

*E-mail: zarubin@ihe.jinr.ru

Поступила в редакцию 14.06.2018 г.

Исследуется образование троек α -частиц в состоянии Хойла при диссоциации в ядерной эмульсии ядер ^{12}C с импульсами 4.5 и 1 А ГэВ/с. Это состояние идентифицируется по инвариантной массе, вычисляемой по парным углам разлета в α -тройках, в приближении сохранения величины импульса на нуклон родительского ядра. Оценка вклада состояния Хойла в диссоциацию $^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha$ составляет 10–15%.

Ключевые слова: ядерная эмульсия, диссоциация, инвариантная масса, релятивистские фрагменты, ядро ^{12}C , состояние Хойла, альфа-частицы

DOI: 10.1134/S2079562917040200

ВВЕДЕНИЕ

Облучения ядерной эмульсии (ЯЭ) во впервые формируемых пучках релятивистских ядер, начавшиеся в 70-х гг. на синхрофазотроне ОИЯИ и Бевалаке (Беркли, США), с начала 2000-х гг. нашли продолжение на нуклотроне ОИЯИ в эксперименте БЕККЕРЕЛЬ [1]. Актуальное применение метода ЯЭ состоит в изучении легких ядер, в том числе радиоактивных, на основе преимуществ релятивистского подхода [2, 3]. Распределения периферических взаимодействий изучаемых ядер по каналам диссоциации на релятивистские заряженные фрагменты передает особенности их структуры. Такая возможность в электронных экспериментах отсутствует. ЯЭ позволяет наблюдать развалы релятивистских ядер вплоть до когерентной диссоциации, при которой ядра мишени видимым образом не разрушаются (рис. 1). События такого вида, именуемые “белые” звезды, составляют несколько процентов от общего числа взаимодействий. Они наиболее ценны для интерпретации, поскольку в них искажение начального состояния ядра, испытывающего диссоциацию, может считаться минимальным. Среди ключевых результатов эксперимента БЕККЕРЕЛЬ – идентификация определения вклада нестабильных ядер ^8Be и ^9B в диссоциацию ядер $^{10,11}\text{C}$ и ^{10}B . Значение этого факта состоит в следующем. Как известно, реакции нуклеосинтеза с участием ^8Be и ^9B подавлены из-за отсутствия у них связанных основных состояний. Тем не менее, это обстоя-

тельство не препятствует существенному вкладу ^8Be и ^9B . Полученный опыт реконструкции ^8Be и ^9B применим для поиска релятивистских распадов состояния Хойла.

Статус экспериментального и теоретического исследования второго возбужденного состояния ядра ^{12}C представлен в обзоре [4]. Это возбуждение именуется в честь астрофизика Ф. Хойла постулировавшего его существование, для объяснения распространенности изотопа ^{12}C во Вселенной как продукта синтеза в недрах звезд. Вслед за точным предсказанием энергии СХ было экспериментально подтверждено, что ядро ^{12}C имеет возбужденное состояние, расположенное на всего 378 кэВ выше массового порога трех α -частиц. Хотя оно и является нестабильным, его ширина, составляет всего 8.5 эВ. Столь малая величина указывает на время жизни на 5–6 порядков большее, чем характерные для ядерных процессов. Она сравнима со временами жизни ^8Be и π^0 -мезона. Запрет слияния $\alpha + ^{12}\text{C}$ из-за неподходящей четности низколежащих уровней в ядре ^{16}O определяет отношение распространенности изотопов ^{12}C и ^{16}O . Переход одного из сливающихся ядер ^{12}C в СХ рассматривается как “шлюз” для синтеза изотопа ^{16}O .

Изучение структуры СХ остается в фокусе современной ядерной физики. В частности, предложена концепция α -частичного конденсата Бозе–Эйнштейна [5]. В качестве наиболее про-

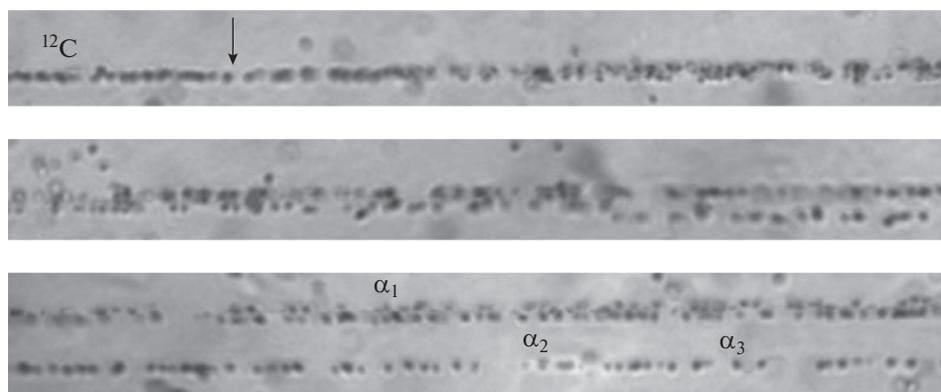


Рис. 1. Последовательные кадры когерентной диссоциации ядра $^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha$ при импульсе $1 \text{ А ГэВ}/c$ (“белая” звезда); стрелка указывает на вершину взаимодействия; размер зерна около 0.5 мкм .

стых форм такого конденсата рассматривается основное состояние нестабильного ядра ^8Be и, вслед за ним, СХ. Наблюдение СХ при высоких энергиях может дать дополнительные свидетельства его ядерно-молекулярной природы. Прежде всего, следует установить саму эту возможность. Распады СХ на $^8\text{Be} + \alpha$ при контрасте релятивистской энергии и минимально возможной запасенной энергии 3α -ансамблей могут продемонстрировать СХ как целостный объект, подобный ^8Be .

Несмотря на уникальные возможности метода ЯЭ, его история казалась завершенной в 2000 г. Однако с 2012 г. компания “Славич” (г. Переславль-Залесский) возобновила производство слоев ЯЭ толщиной от 50 до 200 мкм на стеклянной основе. В рамках эксперимента БЕККЕРЕЛЬ образцы ЯЭ прошли тестирование в актуальных экспериментах, в которых имелось все разнообразие следов ионизации — от медленных тяжелых ионов до релятивистских частиц [6]. На основе фотографирования ЯЭ на микроскопах был получен опыт компьютерного распознавания коротких ядерных следов в ЯЭ. В настоящее время осваивается производство бесподложечных слоев толщиной 500 мкм. Решение этой задачи позволит полностью возобновить методическую культуру, которая могла быть утрачена. В настоящее время в рамках эксперимента БЕККЕРЕЛЬ наряду с работами по проблеме СХ анализируется облучение ЯЭ релятивистскими мюонами. Кроме того, ведется подготовка к анализу тройного деления, индуцируемого тепловыми нейтронами, в образцах ЯЭ, пропитанных в растворе нитрата уранила. Столь разнообразные задачи объединены применением новых образцов ЯЭ производства компании “Славич”. Результаты исследования СХ представлены далее.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ИНВАРИАНТНОЙ МАССЫ

В общем виде энергия системы из нескольких частиц Q определяется как разница между инвариантной массой фрагментирующей системы M^* и суммой масс фрагментов M , т.е. $Q = M^* - M$. M^* определяется как сумма всех произведений 4-импульсов $P_{i,k}$ фрагментов $M^{*2} = (\sum P_j)^2 = \sum (P_i \cdot P_k)$. Вычитание массы есть вопрос удобства и Q — также инвариантная масса. В случае релятивистской фрагментации ядер 4-импульсы $P_{i,k}$ определяются в приближении сохранения фрагментами начального импульса на нуклон (или сохранения фрагментами продольной скорости). Это приближение хорошо обосновано в области предельной фрагментации релятивистских ядер [7]. Определение Q сводится к определению относительных углов между направлениями вылета фрагментов. Необходимые методы 3-мерных координатных измерений в ЯЭ на микроскопах были разработаны в начале исследований по физике космических лучей несколько десятилетий тому назад [8]. Будучи почти инвариантной, переменная Q , позволяет сравнивать данные в конусе фрагментации при разных значениях от начальной энергии налетающих ядер.

Основное состояние ^8Be достаточно отделено от первого возбужденного уровня 2^+ [9], чтобы идентифицировать ^8Be в конусе фрагментации в спектре по инвариантной массе $Q_{2\alpha}$, вычисленной по углу разлета α -пары $\Theta_{2\alpha}$. Как и ^8Be , СХ по энергии также достаточно отделено от ближайших возбуждений ядра ^{12}C [9]. Поэтому такой же подход применим и к идентификации СХ по инвариантной массе α -троек $Q_{3\alpha}$, согласно формуле

$$Q_{3\alpha} = \sqrt{\sum_{i \neq j} (E_{\alpha_i} E_{\alpha_j} - P_{\alpha_i} P_{\alpha_j} \cos \Theta_{2\alpha})} - 3m_{\alpha},$$

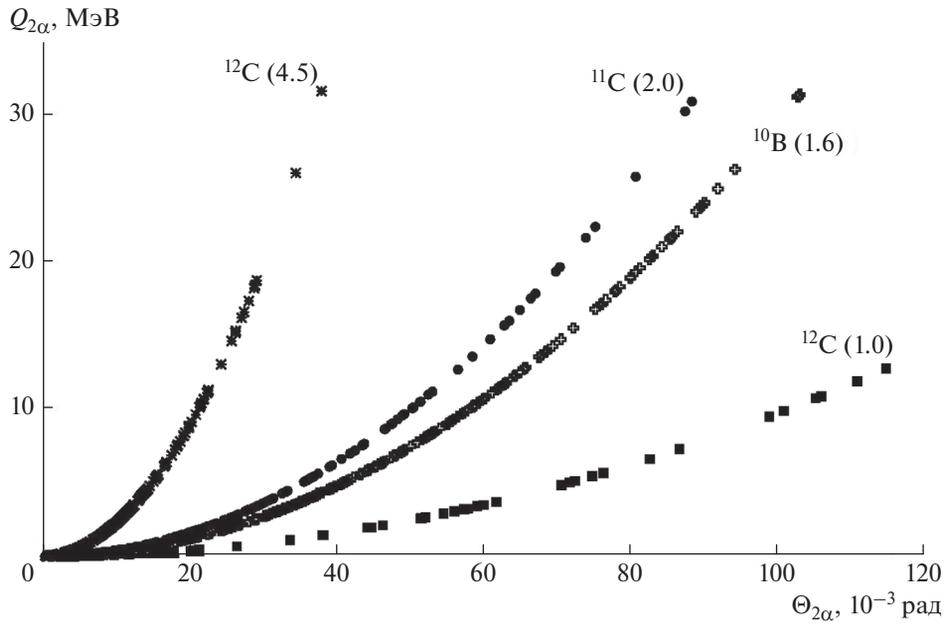


Рис. 2. Зависимость вычисленных инвариантных масс α -пар $Q_{2\alpha}$ от углов разлета в них $\Theta_{2\alpha}$ в событиях диссоциации ядер ^{12}C , ^{11}C и ^{10}B ; значения импульсов указаны в скобках (A ГэВ/c).

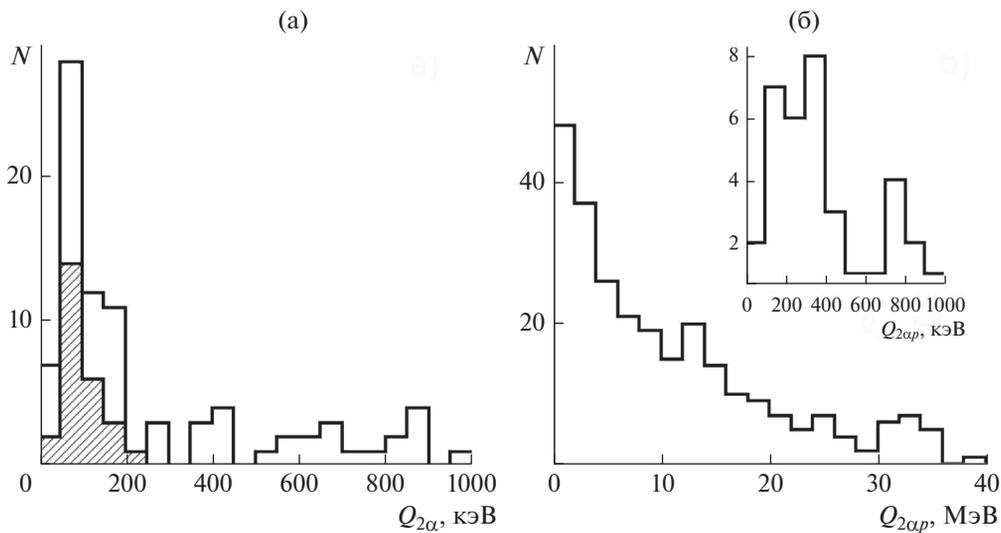


Рис. 3. Распределения по инвариантной массе α -пар $Q_{2\alpha} < 1$ МэВ (а) и 2α -троек $Q_{2\alpha p}$ (б) для фрагментации $^{10}\text{B} \rightarrow 2\text{He} + \text{H}$ при 1.6 АГэВ/c; на вставке (б) область $Q_{2\alpha p} < 1$ МэВ; заштрихован вклад идентифицированных распадов $^9\text{B} \rightarrow ^8\text{Be}$ (а).

где E_α и P_α — значения энергии и импульсов α -частиц i и j , $\Theta_{2\alpha}$ — угол разлета между ними, m_α — масса α -частицы; $P_\alpha = 4P_0$, где P_0 — импульс на нуклон налетающих ядер.

В эксперименте БЕККЕРЕЛЬ получены данные для ядер ^{10}B и ^{11}C и значений их энергии, позволяют продемонстрировать разрешение по инвариантной массе для ^8Be и ^9B . На рис. 2 представлена функциональная зависимость инвариантных масс α -пар $Q_{2\alpha}$ от углов разлета в них $\Theta_{2\alpha}$ для об-

суждаемой далее диссоциации ядер ^{12}C , ^{11}C и ^{10}B . Распады ^8Be должны проявляться области минимальных значений $\Theta_{2\alpha}$ верхняя граница зависит от импульса родительского ядра. Примеры реконструкции $Q_{2\alpha}$ и $Q_{2\alpha p}$ представлены на рис. 3 и 4.

Рис. 3 и 4 содержат распределения $Q_{2\alpha}$ для идентифицированных распадов ^9B , что дает наиболее чистый канал ^8Be . В табл. 1 дана сводка средних значений углов разлета в α -парах $\langle \Theta_{2\alpha} \rangle$ и

Таблица 1. Средние значения $\langle \Theta_{2\alpha} \rangle$ и $\langle Q_{2\alpha} \rangle$ ($Q_{2\alpha} < 300$ кэВ)

Ядро (P_0 , А ГэВ/с)	$\langle \Theta_{2\alpha} \rangle$ (RMS), 10^{-3} рад ($Q_{2\alpha} < 300$ кэВ)	$\langle Q_{2\alpha} \rangle$ (RMS), кэВ
^{12}C (4.5)	2.1 ± 0.1 (0.8)	109 ± 11 (83)
^{14}N (2.9)	2.9 ± 0.2 (1.9)	119.6 ± 9.5 (72)
^9Be (2.0)	4.4 ± 0.2 (2.1)	86 ± 4 (48)
^{10}C (2.0)	4.6 ± 0.2 (1.9)	63 ± 7 (83)
^{11}C (2.0)	4.7 ± 0.3 (1.9)	77 ± 7 (40)
$^{11}\text{C}(2.0) \rightarrow ^9\text{B} \rightarrow ^8\text{Be}$		94 ± 15 (86)
^{10}B (1.6)	5.9 ± 0.2 (1.6)	101 ± 6 (46)
$^{10}\text{B}(1.6) \rightarrow ^9\text{B} \rightarrow ^8\text{Be}$		105 ± 9 (47)
^{12}C (1.0)	10.4 ± 0.5 (3.9)	107 ± 10 (79)

Таблица 2. Средние значения $\langle Q_{2\alpha} \rangle$ ($Q_{2\alpha} < 400$ кэВ)

Ядро	$\langle Q_{2\alpha} \rangle$, (RMS) кэВ
^{10}B	249 ± 19 (91)
^{10}C	254 ± 18 (96)
^{11}C	273 ± 18 (82)

$\langle Q_{2\alpha} \rangle$ ($Q_{2\alpha} < 300$ кэВ), которая указывает на их соответствие ядру ^8Be . В табл. 2 приведены данные по средним значениям $Q_{2\alpha}$ в 2α -тройках. Согласно [9], энергия распада ^8Be составляет 91.8 кэВ при ширине 5.57 эВ, а ^9B — 185.1 и 0.54 ± 0.21 кэВ, соответственно. Значения среднеквадратичного рассеяния (RMS) демонстрируют, что разре-

ние позволяет уверенно идентифицировать ^8Be и ^9B . В случае фрагментации ^{10}B 42% распадов ^8Be возникают из распадов ^9B , а для ^{11}C — 66%. Для ^{10}C такое соответствие было полным.

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА

Современным материалом для исследования СХ служат слои ЯЭ толщиной 200 мкм на стекле, продольно облученные в 2017 г. в медико-биологическом пучке Института физики высоких энергий (г. Протвино) ядрами ^{12}C с импульсом 1 А ГэВ/с. Ускоренный поиск 3α -событий ведется в них ускоренным сканированием по полосам, поперечным к направлению пучка. К настоящему времени в слоях ЯЭ выполнены угловые измерения в

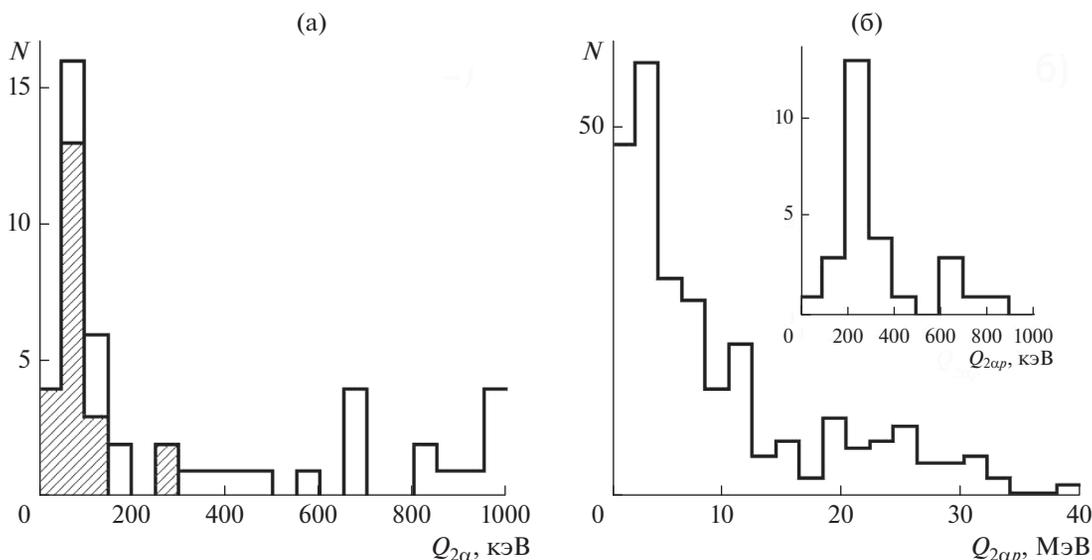


Рис. 4. Распределения по инвариантной массе α -пар $Q_{2\alpha} < 1$ МэВ (а) и 2α -троек $Q_{2\alpha}$ (б) для “белых” звезд $^{11}\text{C} \rightarrow 2\text{He} + 2\text{H}$ при 2.0 А ГэВ/с; на вставке (б) область $Q_{2\alpha} < 1$ МэВ; заштрихован вклад идентифицированных распадов $^9\text{B} \rightarrow ^8\text{Be}$ (а).

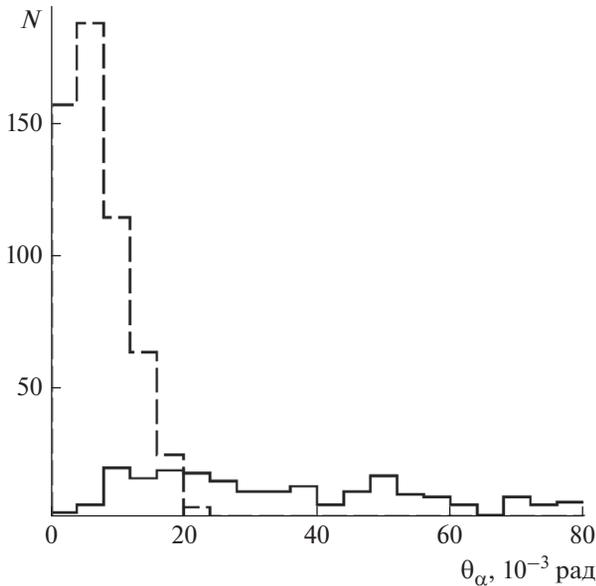


Рис. 5. Распределение по полярному углу вылета θ_α α -частиц в событиях $^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha$ при 4.5 (пунктир) и 1 А ГэВ/с.

86 событиях $^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha$, в том числе в 36 “белых” звездах.

Кроме того, доступны угловые измерения, выполненные в 90-е гг. для 72 (группа Г.М. Чернова, Ташкент) [10] и 114 “белых” звезд $^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha$ (группа А.Ш. Гайтинова, Алма-Ата) в слоях ЯЭ, облученных на синхрофазотроне ОИЯИ при импульсе 4.5 А ГэВ/с. В то время проблема наблюдения СХ не была поставлена. На рис. 5 совместно представлены измерения по полярному углу вылета θ_α

α -частиц при этих двух значениях импульса. Охват по энергии – от сотен МэВ до нескольких ГэВ на нуклон – позволяет проверить универсальность идентификации СХ в переменной $Q_{3\alpha}$.

На рис. 6 представлены распределения по $Q_{2\alpha}$. Область $Q_{2\alpha} < 400$ кэВ содержит пик, прижатый к началу отсчета, который отвечает распадам ^8Be . Хотя сигнал ^8Be присутствует, однако распределение оказывается значительно более широким по сравнению с рис. 3 и 4.

В распределении по инвариантной массе α -троек $Q_{3\alpha}$, представленном на рис. 7 имеется пик в области $Q_{3\alpha} < 1$ МэВ, где и должны отражаться распады СХ. Для событий при 4.5 А ГэВ/с среднее значение для событий в пике $\langle Q_{3\alpha} \rangle$ (RMS) равно 441 ± 34 (190) кэВ, а при 1 А ГэВ/с соответственно 346 ± 28 (85) кэВ. Согласно “мягкому” условию $Q_{3\alpha} < 1$ МэВ в облучении 4.5 А ГэВ/с 30 (из 186) событий могут быть отнесены к СХ, а при 1 А ГэВ/с – 9 (из 86), включая 5 “белых” звезд (из 36).

При отборе во всей имеющейся статистике α -пар из α -троек, отвечающих критерию СХ $Q_{3\alpha} < 1$ МэВ, распределение $Q_{2\alpha}$ приобретает вид, представленный на рис. 8. Среднее значение $\langle Q_{2\alpha} \rangle$ (RMS) составляет 210 ± 15 (156) кэВ, что явно отличается от данных табл. 1. Это распределение становится шире, и в нем сложно выявить пик ^8Be . Это изменение вызвано возросшим вкладом нерезонансных α -пар из распадов СХ, которые маскируют сигнал ^8Be . В свою очередь это обстоятельство делает более детальный анализ недостижимым. Оно характеризует для используемого подхода предел в проблеме СХ.

Имеющиеся измерения позволяют сделать выводы о динамике возникновения СХ согласно рас-

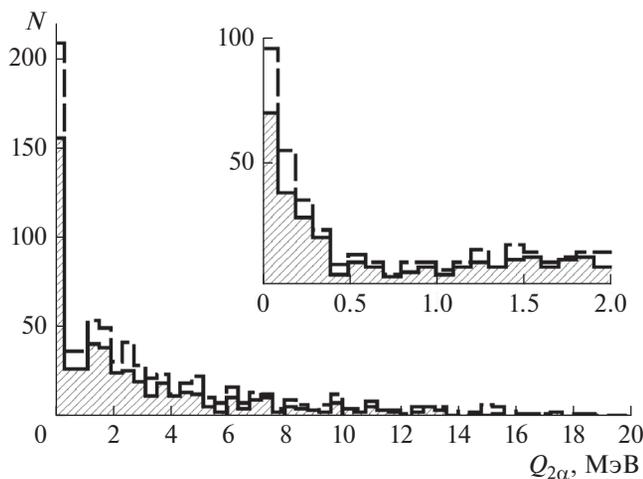


Рис. 6. Распределение по инвариантной массе α -пар $Q_{2\alpha}$ в диссоциации $^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha$ при 4.5 (заштриховано) и 1 А ГэВ/с (добавлено пунктиром); на вставке: область $Q_{2\alpha} < 1$ МэВ.

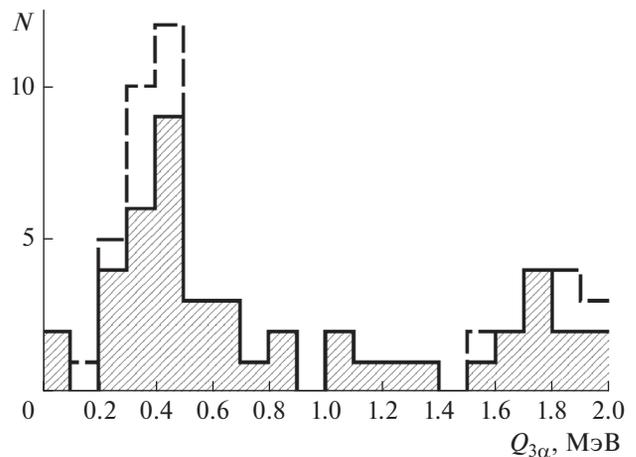


Рис. 7. Распределение по инвариантной массе α -троек в области $Q_{3\alpha} < 2$ МэВ в диссоциации $^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha$ при 4.5 (заштриховано) и 1 А ГэВ/с (добавлено пунктиром).

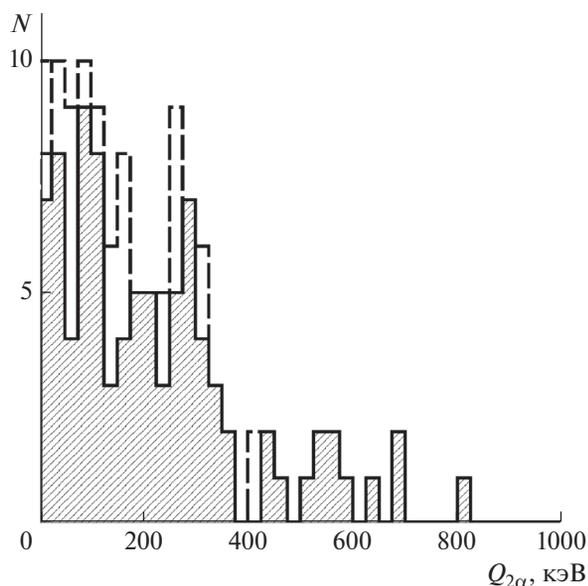


Рис. 8. Распределение по инвариантной массе α -пар в области $Q_{2\alpha} < 2$ МэВ в событиях СХ ($Q_{3\alpha} < 1$ МэВ) в диссоциации $^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha$ при 4.5 (заштриховано) и 1 А ГэВ/с (добавлено пунктиром).

пределениям по полному поперечному импульсу $P_{T\text{sum}}$ троек α -частиц (рис. 9). Для 186 “белых” звезд $^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha$ при 4.5 А ГэВ/с среднее значение полного поперечного импульса α -тройки $\langle P_{T\text{sum}} \rangle$ (RMS) составляет 223 ± 9 (118) МэВ/с, а для выборки из 30 событий $Q_{3\alpha} < 1$ МэВ – 176 ± 18 (101) МэВ/с. Для 36 событий когерентной диссоциации $^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha$ (“белых” звезд) при 1 А ГэВ/с $\langle P_{T\text{sum}} \rangle$ (RMS) составляет 229 ± 21 (125) МэВ/с, а для 5 из них, отвечающих СХ – 139 ± 18 (41) МэВ/с. Эти значения $\langle P_{T\text{sum}} \rangle$ соответствуют ядерно-дифракционному механизму реакции.

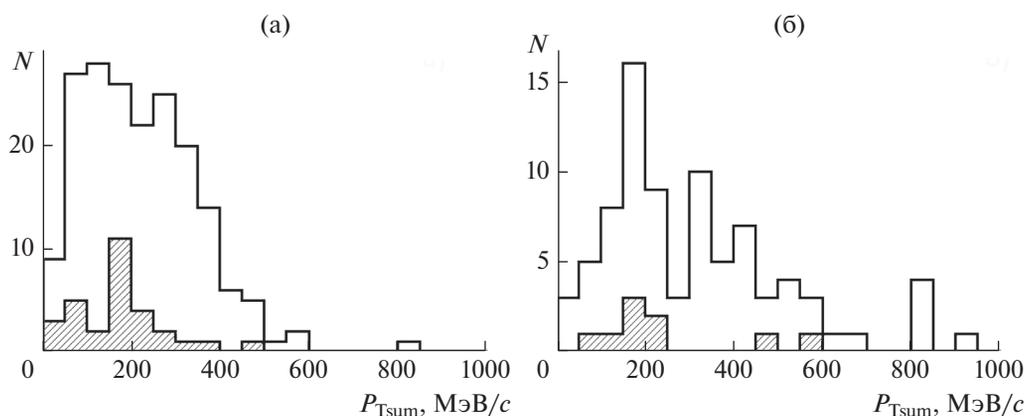


Рис. 9. Распределение по полному поперечному импульсу α -троек $P_{T\text{sum}}$ в диссоциации $^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha$ при 4.5 А ГэВ/с (а) и 1 А ГэВ/с (б); вклад распадов СХ заштрихован.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Состояние Хойла идентифицировано в диссоциации $^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha$ при 4.5 и 1 А ГэВ/с на основе наиболее прецизионных измерений в ЯЭ, сделанных разными исследователями на разных облучениях, которые разделены во времени двумя десятилетиями. Сам по себе этот факт демонстрирует основательность метода ЯЭ. В результате проведенных исследований можно сделать вывод о наблюдении СХ с вкладом около 10–15%. Однако, метод ЯЭ не позволяет исследовать особенности распада СХ. Реконструкция СХ по инвариантной массе релятивистских α -троек может быть применена для изучения процессов с образованием СХ как целостного объекта при больших импульсах и для других фрагментирующих ядер, кроме ^{12}C .

Представляется неожиданным, что столь “хрупкое” образование из трех α -частиц как СХ может возникать как целостный ансамбль, совершая “отскок” с поперечным импульсом $P_{T\text{sum}}$, характерным для сильных взаимодействий, а не электромагнитных взаимодействий. В случае электромагнитной диссоциации на тяжелом ядре мишени ограничение составило бы $P_{T\text{sum}} < 100$ МэВ/с. Нарастание статистики может позволить зарегистрировать образование СХ с большими поперечными импульсами вне углового конуса фрагментации родительского ядра. Такие наблюдения наглядно бы продемонстрировали СХ целостным и долгоживущим ядерно-молекулярным состоянием. Аналогичные события наблюдались и в случаях $^9\text{Be} \rightarrow ^8\text{Be} + \alpha$ и $^{10}\text{C} \rightarrow ^9\text{B} + \alpha$.

Возможно, что СХ не сводится к только возбуждению ^{12}C , а может проявляться как универсальный объект во фрагментации более тяжелых ядер, аналогично ^8Be . В этом отношении наиболее близким источником СХ является ядро ^{14}N . Еще удобнее ядра ^{13}N и ^{13}C , пучки которых воз-

можно формировать во фрагментации ядер ^{14}N . Можно рассчитывать, что ядерно-молекулярные объекты ^8Be и СХ станут ориентирами для поиска более сложных состояний разреженной ядерной материи в релятивистском подходе.

БЛАГОДАРНОСТИ

Сотрудники ИФВЭ (г. Протвино) под руководством В. А. Пикалова обеспечили качественное облучение эмульсионных слоев в углеродном пучке. Участники эксперимента БЕККЕРЕЛЬ в ОИЯИ Д. Артеменкову В.В. Русаковой, Г.В. Стельмах и Н.С. Шербаковой за работу по набору экспериментального материала и консультации при измерениях и анализе. Сотрудники химической группы ОИЯИ под руководством В.Я. Брандовой обеспечили проявку облученных слоев. Н.Г. Пересадько (ФИАН) предоставила измерения выполненные участниками в группах Г.М. Чернова и А.Ш. Гайтинова в 90-е г. Мы сохраним благодарную память о старейшем сотруднике ФИАН С.П. Харламове, с которым обсуждались все этапы эксперимента БЕККЕРЕЛЬ, начиная с 90-х г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. "The BECQUEREL Project" // <http://becquerel.jinr.ru/>.

2. *Zarubin P.I.* // Lect. Notes in Physics 2014. V. 875. Clusters in Nuclei. No. 3. P. 51. Springer Int. Publ.; arXiv:1309.4881.
3. *Artemenkov D.A., Zaitsev A.A., Zarubin P.I.* // Phys. Part. Nucl. 2017. V. 48. P. 147. doi 10.1134/S1063779617010026; arXiv:1607.08020.
4. *Freer M., Fynbo H.O.U.* // Prog. Part. Nucl. Phys. 2014. V. 78. P. 1. doi 10.1016/j.pnpnp.2014.06.001.
5. *Tohsaki A., Horiuchi H., Schuck P. and Ropke G.* // Rev. Mod. Phys. 2017. V. 89. P. 011002. doi 10.1103/RevModPhys.89.011002.
6. *Зарубин П.И.* // Ядерная физика и инжиниринг. 2016. Т. 7. С. 25; *Zarubin P.I.* // Phys. Atom. Nucl. 2016. V. 79. P. 1525. doi 10.1134/S1063778816130093.
7. *Anderson L., Bruckner W., Moeller E., Nagamiya S., Nilsen-Meyer S., Schroeder L., Shapiro G., Steiner H.* // Phys. Rev. C. 1983. V. 28. P. 1224.
8. *Пауэлл С., Фаулер П., Перкинс Д.* // Исследование элементарных частиц фотографическим методом. 1962. Москва: Изд. ин. лит.; *Powell C.F., Fowler P.H., and Perkins D.H.* // Study of Elementary Particles by the Photographic Method. 1959. London: Pergamon.
9. *Ajzenberg-Selove F.* // Nucl. Phys. A. 1988. V. 490. P. 1; TUNL Nuclear Data Evaluation Project: <http://www.tunl.duke.edu/NuclData/>.
10. *Белага В.В., Беджаза А.А., Русакова В.В., Саломов Д.А., Чернов Г. М.* // Ядерная физика. 1995. Т. 58. С. 2014; *Belaga V.V., Benjaza A.A., Rusakova V.V., Salomov D.A., Chernov G.M.* // Phys. Atom. Nucl. 1995. V. 58. P. 1905. doi 10.1063/7788-1905(95)5811-5; arXiv: 1109.0817.

Application of Nuclear Track Emulsion in Search for the Hoyle's State in the Dissociation of Relativistic ^{12}C Nuclei

A. A. Zaitsev^{1, 2} and P. I. Zarubin^{1, 2, *}

¹*Veksler and Baldin Laboratory of High Energy Physics, Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Moscow oblast, 141980 Russia*

²*Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, 119991 Russia*

*e-mail: zarubin@lhe.jinr.ru

Received June 14, 2018

Abstract—The formation of triplets of α particles in the Hoyle's state (the second excited state is 0^+) in dissociation in nuclear track emulsion of 4.5- and 1-A GeV/c ^{12}C nuclei is studied. This state is identified by the invariant mass calculated from pair angles in the α triples in the approximation of conservation of momentum per nucleon of the parent nucleus. The contribution of the Hoyle's state to the relativistic dissociation $^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha$ is estimated to be 10–15%.

Keywords: nuclear emulsion, dissociation, invariant mass, relativistic fragments, ^{12}C nucleus, Hoyle's state, alpha particles