



СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P1-98-350

ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
РЕАКЦИИ ПЕРЕЗАРЯДКИ  ${}^3\text{H} \rightarrow {}^3\text{He}$   
НА УГЛЕРОДЕ ПРИ 6 ГэВ/с И 9 ГэВ/с



1998

С.А.Авраменко, В.Д.Аксиненко, М.Х.Аникина, Б.П.Банник, Ю.А.Беликов,  
А.Г.Гальперин, Н.С.Глаголева, А.И.Голохвастов, С.Н.Комарова,  
Ю.Лукстиньш, П.К.Маньяков, А.Т.Матюшин, В.Т.Матюшин, Т.Г.Останевич,  
О.В.Охрименко, В.Б.Радоманов, П.А.Рукояткин, И.С.Саитов, С.А.Седых,  
О.Ю.Тягюшкина, С.А.Хорозов

*Объединенный институт ядерных исследований, Дубна*

В.П.Кондратьев, Л.В.Краснов, И.В.Степанов

*Санкт-Петербургский государственный университет*

К.Гаевский, Я.Мирковский, Э.Павловский, А.Пиатковский

*Варшавский университет*

Н.Н.Нургожин, Е.К.Хусаинов

*Институт физики высоких энергий, Алма-Ата*

Исследования процесса перезарядки нуклонов и ядер на ядрах при энергиях в несколько ГэВ на нуклон дали много интересных результатов, в частности, о поведении дельта-изобары в ядрах (см., например, обзор [1] и ссылки там).

В данной работе приводятся данные о топологических характеристиках реакции  $C(^3H, ^3He)$ , полученные на установке ГИБС при импульсе ядер трития около 6 ГэВ/с и 9 ГэВ/с.

Эксперимент проводился на выведенном пучке синхрофазотрона ЛВЭ ОИЯИ. Ядра  $^4He$ , ускоренные до 8 ГэВ/с (или до 12 ГэВ/с), выводились из ускорителя приблизительно за время около 0,5 с и направлялись на мишень-фрагментатор из полистирола толщиной несколько граммов на квадратный сантиметр. Ядра трития, образовавшиеся в результате процесса фрагментации ядер гелия, формировались в пучок магнитным каналом, расположенным за мишенью-фрагментатором. Магнитные элементы канала (три дипольных магнита и магнитные линзы) были настроены на импульс 6 ГэВ/с (или 9 ГэВ/с), то есть на максимумы спектров ядер трития, образующихся в процессе фрагментации. Проведенные проверки показали, что на выходе получается практически чистый пучок ядер трития (незначительные примеси протонов и дейтонов обусловлены взаимодействием ядер трития в воздухе уже в месте расположения установки ГИБС). Интенсивность тритиевого пучка была  $10^5$  —  $10^6$  частиц в цикл при интенсивности первичного (гелиевого) пучка несколько единиц на  $10^8$  частиц в цикл, а характерный разброс по импульсу составлял несколько процентов. Подробные сведения о методе получения тритиевого пучка и его параметрах можно найти в работах [2,3].

Основной регистрирующей частью спектрометра ГИБС является стримерная камера, наполненная неоном при атмосферном давлении и расположенная в магнитном поле 0,9 Тл. Размер стримерной камеры  $2 \times 1 \times 0,6$  м<sup>3</sup>. Углеродная мишень толщиной 1,3 г/см<sup>2</sup> и поперечными размерами  $3 \times 6$  см<sup>2</sup> смонтирована внутри чувствительного объема стримерной камеры приблизительно в 70 см от входного окна, закрытого тонкой лавсановой пленкой. Ядра  $^3He$ , образовавшиеся в

результате перезарядки тритонов на внутренней мишени, пролетали в чувствительном объеме расстояние около 130 см и выходили через выходное окно. Стримерная камера фотографируется тремя фотоаппаратами, так, что их оси приблизительно перпендикулярны направлению полета ядер трития и гелия-3.

Для быстрого отбора событий использовалась триггерная система, включающая в себя несколько групп сцинтилляционных счетчиков и электронику. Принцип отбора основан на измерении амплитуд сигналов заряженных частиц. Счетчики, расположенные перед стримерной камерой, настраивались на регистрацию однозарядных частиц (тритоны), а счетчики, расположенные за выходным окном камеры, — на регистрацию двухзарядных (ядра гелия-3). Размер счетчиков, расположенных за выходным окном,  $30 \times 40$  см<sup>2</sup>, расстояние от внутренней мишени до них около 4 м. Это позволяет с достаточно высокой эффективностью регистрировать практически все ядра гелия-3, образовавшиеся в реакции перезарядки на мишени. Опыт эксплуатации установки показал, что описанная триггерная система позволяет получать фотографии реакции перезарядки в мишени приблизительно в 40% случаев срабатывания триггерной системы. Остальные 60% стереоснимков связаны с перезарядкой во входном и выходном окнах камеры, а также в последнем слое счетчика, стоящего перед камерой, или в начальном слое счетчика, стоящего за камерой. Описание установки ГИБС приведено в работе [4], а характеристики сцинтилляционных счетчиков, используемых для идентификации частиц по заряду, — в работах [5,6].

Экспериментальные данные об относительной частоте различных топологий для обеих исследованных энергий приведены в таблице.

Топология	6 ГэВ/с	9 ГэВ/с
0	0,52	0,41
-	0,30	0,37
+	0,10	0,10
-+	0,05	0,08
Другие	0,03	0,04

Топология "0" соответствует каналу реакции, в котором процесс перезарядки трития в гелий-3 не сопровождается испусканием заряженных частиц. Топологии "-", "+" и "-+" соответствуют каналам реакции перезарядки, в которых испускаются соответственно одна отрицательно заряженная частица (это в подавляющем большинстве случаев отрицательно заряженный пион), одна положительно заряженная частица (практически всегда это протон) и одна отрицательно заряженная с одной положительно заряженной (как правило, пион с протоном). Уверенность в том, что в перечисленных топологиях положительно заряженная частица практически всегда является именно протоном (а не, например, положительно заряженным пионом или позитроном) основана на возможности идентификации частиц в стримерной камере по плотности ионизации, по крайней мере до импульсов в несколько сот МэВ/с, то есть именно в той области импульсного спектра, где находится большинство вторичных частиц. В графе "другие" приведены относительные частоты каналов перезарядки, которые сопровождаются испусканием более чем двух заряженных частиц. К этой же группе отнесены сравнительно редкие события (их не больше одного процента), в которых хотя бы одна из двух разноименно заряженных частиц по импульсу и ионизации идентифицируется как электрон или позитрон. Примерно в 5% всех событий надежное определение знака заряда, по крайней мере одной из испущенных частиц, невозможно (события с неопределенной топологией). Почти всегда это треки частиц, испущенных в направлениях, близких к направлению магнитного поля в стримерной камере. Эти события при расчете относительных частот различных топологий в ансамбль не включались.

Приведенные в таблице данные основаны на просмотре и анализе примерно 3000 событий для каждой энергии, что обеспечивает относительную случайную погрешность на уровне единиц процентов. Дальнейшее увеличение статистики нецелесообразно из-за довольно значительного числа случаев перезарядки с неопределенной топологией.

Процедура отбора событий перезарядки во внутренней мишени основана на визуальной оценке отношения оптических

плотностей треков до и после мишени. Поскольку плотность ионизации гелия-3 в четыре раза больше плотности ионизации ядер трития, то выделение таких событий в большинстве случаев не представляет труда. Лишь в сравнительно редких случаях, когда из-за значительного числа пятен на треках визуальная идентификация затруднена, при отборе событий использовались результаты измерений импульсов вторичных частиц. Импульс ядер гелия-3 обычно близок к импульсу  $p$  первичного тритона, в то время как импульсы дейтонов и протонов, образовавшихся при фрагментации тритона, группируются вокруг  $0,66 p$  и  $0,33 p$  соответственно. Точность измерения импульса ядер гелия-3 равна 2 — 3 %.

При рассматриваемых здесь энергиях первичных тритонов основной вклад в сечение реакции перезарядки дают процесс квазиупругой перезарядки и процессы с возбуждением дельта-изобары в ядре-мишени или ядре-снаряде [1]. Поскольку при перезарядке тритона в гелий-3 заряд снаряда увеличивается на единицу, то в мишени должны возбуждаться дельта-ноль- (передача пи-минус-мезона и его взаимодействие с протоном) и дельта-минус-изобары (при взаимодействии пи-минус мезона с нейтроном). Распад образовавшейся дельта-ноль-изобары по каналу  $\pi^- p$  дает вклад в топологию “-+”, а ее распад по каналу  $\pi^0 n$  — в топологию “0”. Распад дельта-минус-изобары дает вклад в топологию “-”. Если же дельта-изобара возбуждается в ядре-снаряде, то в случае возбуждения  $\Delta^0$ -изобары вторичной частицей должен быть отрицательно заряженный пион (распад по каналу  $\pi^0 n$  не может привести к образованию гелия-3), что дает вклад в топологию “-”, а в случае возбуждения  $\Delta^+$ -изобары, распадающейся по каналу  $\pi^0 p$  (распад по каналу  $\pi^+ n$  не может привести к образованию гелия-3), вторичных заряженных частиц нет.

Как показывает приведенная выше таблица, перечисленные топологии и являются доминирующими. Однако есть и весьма заметный вклад топологии “+”, которая не появлялась в рассмотренной схеме. При этом импульсный спектр протонов в этой топологии указывает на их явно неиспарительное происхождение. Наиболее вероятная причина появления этих протонов — так называемая безмезонная разрядка дельта-изобары. Гипотеза о важности этого процесса впервые была

выдвинута в работе [7] при исследовании инклюзивных спектров перезаряженных ядер, а первые теоретические расчеты эффекта содержались в работах [8,9]. В соответствии с этой гипотезой  $\Delta^-$ - и  $\Delta^0$ -изобары, образовавшиеся в ядре-мишени, взаимодействуют с нуклонами ядра:

$$\Delta^- p \rightarrow pn,$$

$$\Delta^0 p \rightarrow pr,$$

$$\Delta^0 n \rightarrow pn.$$

Таким образом, протоны в топологии “+”, скорее всего, обязаны своим происхождением второй из приведенных реакций. Анализ изотопических соотношений, проведенный в работе [10], показывает, что сечение образования  $\Delta^-$ -изобары в ядре мишени гораздо больше сечения образования  $\Delta^0$ -изобары. Учитывая это обстоятельство и десятипроцентный выход протонов, можно заключить, что роль безмезонной разрядки дельта-изобары, которую можно рассматривать как проявление коллективных эффектов, весьма значительна и ее исследование может дать новые интересные сведения о поведении дельта-изобары в ядерном веществе.

Работа проводилась при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 96-02-19170).

#### Литература

1. Мухин К.Н., Патаракин О.О. УФН 165 (1995), 841.
2. Кириллов А.Д., Комолов Л.Н., Рукояткин П.А., Хорозов С.А. Сообщение ОИЯИ P13 - 97 - 344. Дубна, 1997.
3. Avramenko S.A. ao JINR Rapid Communication 6[86] - 97, 61. Dubna, 1997.
4. Авраменко С.А. и др. Препринт ОИЯИ P13 - 98 - 111. Дубна, 1998.
5. Беликов Ю.А. и др. Сообщение ОИЯИ P1 - 91 - 209. Дубна, 1991.
6. Авраменко С.А. и др. Сообщение ОИЯИ P1 - 91 - 206. Дубна, 1991.
7. Аблеев В.Г. и др. Письма в ЖЭТФ 40 (1984) 35.
8. Dmitriev V. et al Nucl.Phys.A 459 (1986) 503.
9. Гареев Ф.А., Ратис Ю.Л. ОИЯИ P2-89-805, Дубна, 1989.
10. Oset E. et al Phys.Lett. B224 (1986)249.

Рукопись поступила в издательский отдел  
17 декабря 1998 года.

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ  
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
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

**Издательский отдел  
Объединенного института ядерных исследований  
предлагает Вам приобрести перечисленные ниже книги:**

Индекс книги	Название книги
94-55	Боголюбовские чтения. Материалы Международного совещания. Дубна, 1993 г. 216 с. (на русском и англ. яз.) Книга В.С.Барашенкова «Сечения взаимодействия частиц и ядер с ядрами». 1993 г. 346 с.
Д3,14-95-323	Труды VII школы по нейтронной физике. Дубна, 1995, том I, 356 с. (на русском и англ. яз.)
E10,11-95-387	Труды Международной конференции REAL TIME DATA'94. Дубна, 1994, 358 с. (на англ. яз.)
Д15-96-18	Труды рабочего совещания «Зарядовые и нуклонные радиусы экзотических ядер». Познань, 1995, 172 с. (на русском и англ. яз.)
E9-96-21	Труды рабочего совещания секции ICFA динамики пучков «По эффектам встречи в кольцевых коллайдерах». Дубна, 1995, 198 с. (на англ. яз.)
E2-96-100	Труды 3 международного симпозиума «Дейтрон — Дубна-95». Дубна, 1995, 374 с. (на англ. яз.)
E2-96-224	Труды VII международной конференции «Методы симметрии в физике». Дубна, 1996, 2 тома, 630 с. (на англ. яз.)
E10-96-258	Труды 17 ежегодного совещания группы пользователей TEX. Дубна, 1996, 170 с. (на англ. яз.)
E-96-321	Труды международного семинара «Интегралы по траекториям: Дубна-96». Дубна, 1996, 392 с. (на англ. яз.)
E2-96-334	Труды Российско-немецкого совещания по физике тяжелых кварков. Дубна, 1996, 240 с. (на англ. яз.)
E3-96-336	Труды 4 Международного семинара по взаимодействию нейтронов с ядрами. Дубна, 1996, 396 с. (на англ. яз.)
E3-96-369	Труды X международной конференции «Проблемы квантовой теории поля». Дубна, 1996, 437 с. (на англ. яз.)
E3-96-507	Труды международного семинара «Поляризованные нейтроны в исследованиях конденсированных сред». Дубна, 1996, 154 с. (на англ. яз.) Книга А.Н.Боголюбова. Н.Н.Боголюбов. Жизнь. Творчество. Дубна, 1996; 182 с. (на русском яз.)
Д1,2-97-6	Труды международного семинара «Релятивистская ядерная физика от сотен МэВ до ТэВ». Дубна, 1996, 2 тома, 418 с. и 412 с. (на русском и англ. яз.)
E7-97-49	Труды 3 международной конференции и «Динамические аспекты деления ядер». Словакия, 1996, 426 с. (на англ. яз.)

Индекс книги	Название книги
Е1,2-97-79	Труды XII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Релятивистская ядерная физика и квантовая хромодинамика. Дубна, 1994, 2 тома, 364 с. и 370 с. (на англ. яз.)
Д5,11-97-112	Труды IX международной конференции «Математическое моделирование в физике». Дубна, 1996, 378 с. (на русском и англ. яз.)
Е3-97-213	Труды V Международного семинара по взаимодействию нейтронов с ядрами. Дубна, 1997, 446 с. (на англ. яз.)
Д9-97-231	Труды международной школы молодых ученых «Проблемы ускорения заряженных частиц». Дубна, 1996, 285 с. (на русском и англ. яз.)
Е2,4-97-263	Труды III международной конференции «Ренормгруппа-96». Дубна, 1996, 436 с. (на англ. яз.)
Е10-97-272	Труды международного рабочего совещания «Системы сбора данных в экспериментах на нейтронных источниках». Дубна, 1997, 325 с. (на англ. яз.)
Д19-97-284	Труды международного симпозиума «Проблемы биохимии, радиационной и космической биологии». Дубна, 1997, 2 тома: 284 и 405 стр. (на русском и англ. яз.)
Р14-97-343	Труды Национальной конференции по применению рентгеновского синхротронного излучения нейтронов и электронов для исследования материалов. Дубна, 1997, 3 тома, 370 с., 448 с., 340 с. (на русском яз.)
Д -97-376	Труды I открытой конференции молодых ученых и специалистов ОИЯИ. Дубна, 1997, 254 с. (на русском яз.)
Е2-97-413	Труды VII Международного совещания по спиновой физике высоких энергий (СПИН-97). Дубна, 1997, 398 с. (на англ. яз.)

За дополнительной информацией просим обращаться в издательский отдел ОИЯИ по адресу:

141980, г. Дубна, Московской области,  
ул. Жолио-Кюри, 6.  
Объединенный институт ядерных исследований,  
издательский отдел  
E-mail: publish@pds.jinr.dubna.su

Авраменко С.А. и др.

P1-98-350

Топологические характеристики реакции перезарядки  ${}^3\text{H} \rightarrow {}^3\text{He}$  на углеводе при 6 ГэВ/с и 9 ГэВ/с

Описаны методика получения тритиевого пучка и постановка эксперимента по исследованию топологических характеристик реакции перезарядки  ${}^3\text{H} \rightarrow {}^3\text{He}$  на углеводе при импульсе 6 ГэВ/с и 9 ГэВ/с на установке ГИЭС. Приведены относительные частоты различных топологий при обеих энергиях. Полученные данные свидетельствуют о значительном вкладе процесса безмезонного распада  $\Delta(1232)$  в сечения исследованных реакций.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1998

Перевод авторов

Avramenko S.A. et al.

P1-98-350

Topological Characteristics of the Charge Exchange Reaction  ${}^3\text{H} \rightarrow {}^3\text{He}$  on a Carbon Target at a Beam Momenta of 6 GeV/c and 9 GeV/c

The experiment dedicated to the investigation of the topological characteristics of the charge exchange reaction  ${}^3\text{H} \rightarrow {}^3\text{He}$  on a carbon target at a beam momenta of 6 GeV/c and 9 GeV/c using the GIBS setup is described as well as the method of tritium beam formation. The branching ratios of different topologies are presented for both energies. The obtained data testimony in favour of rather a significant contribution of the non-mesonic  $\Delta(1232)$  decay to the cross sections of the investigated reactions.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 1998

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

Подписано в печать 23.12.98  
Формат 60 × 90/16. Офсетная печать. Уч.-изд. листов 0,38  
Тираж 430. Заказ 51075. Цена 46 к.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований  
Дубна Московской области