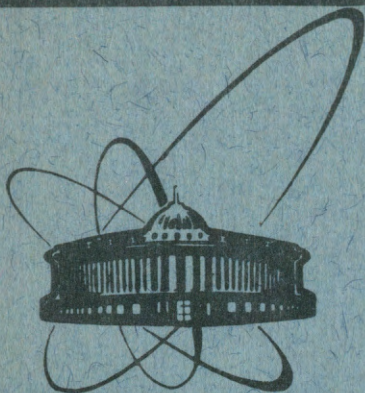


91-240



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

P1-91-240

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

1991



Топологические характеристики реакции перезарядки

 ${}^3\text{H} \rightarrow {}^3\text{He}$  на ядрах неона и магния при 9 ГэВ/с

Впервые в  $4\pi$ -геометрии исследовались реакции перезарядки релятивистских ионов на ядрах. В струмерной камере спектрометра ГИБС зарегистрировано 110 событий  ${}^3\text{H} + \text{Ne} \rightarrow {}^3\text{He} + \dots$  и 1691 событие  ${}^3\text{H} + \text{Mg} \rightarrow {}^3\text{He} + \dots$  при импульсе  ${}^3\text{H}$  около 9 ГэВ/с. Анализ топологических характеристик этих событий дает новые сильные аргументы в пользу существенной роли эффектов коллективного возбуждения дельта-изобары в реакциях перезарядки.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1991

Перевод Л.Н.Барабаш

Avramenko S.A. et al.

P1-91-240

Topological Characteristics of the Charge Exchange

Reaction  ${}^3\text{H} \rightarrow {}^3\text{He}$  on Neon and Magnesium Nuclei at 9 GeV/c

For the first time the charge exchange reaction of relativistic ions on nuclei was investigated using  $4\pi$ -geometry. 110  ${}^3\text{H} + \text{Ne} \rightarrow {}^3\text{He} + \dots$  events and 1691  ${}^3\text{H} + \text{Mg} \rightarrow {}^3\text{He} + \dots$  events were registered in the streamer chamber of the spectrometer GIBS at a 9 GeV/c momentum of a  ${}^3\text{H}$  beam. The analysis of the topological characteristics of the events (number and charge of secondary particles) gives new strong arguments in favour of a significant role of the effects of collective excitation of the delta isobar in charge exchange reactions.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1991

С.А.Авраменко, В.Д.Аксиненко, М.Х.Аникина, Б.П.Банник,  
Г.Л.Варденга, Ю.Н.Волков, А.Г.Гальперин, Н.С.Глаголева,  
А.И.Голохвастов, Н.И.Каминский, Э.В.Козубский, С.Н.Комарова,  
Б.А.Кулаков, Ю.Лу́кстиньш, О.Ю.Мандрик, А.Т.Матюшин,  
В.Т.Матюшин, С.В.Мухин, Н.М.Никитюк, Л.С.Охрименко,  
О.В.Охрименко, В.Б.Радоманов, П.А.Рукояткин, И.С.Саитов,  
С.А.Седых, С.А.Хорозов

Лаборатория высоких энергий ОИЯИ, Дубна

А.У.Абдурахимов, В.А.Бутенко, В.А.Дроздов, В.Ф.Завьялов,  
Т.Г.Останеви́ч

Лаборатория вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ, Дубна

Ю.А.Беликов, В.П.Кондратьев, Л.В.Краснов, И.В.Степанов,  
И.Е.Шевченко

Ленинградский государственный университет

К.Гаевский, Я.Мирковский, Э.Павловский, А.Пнатковский  
Варшавский университет

Н.Н.Нургожи́н, Е.К.Хусаинов

Институт физики высоких энергий АН КазССР, Алма-Ата

В проведенных в Дубне и Сакле экспериментах (см., например, /I-5/) исследовались импульсно-угловые распределения ядер трития, образовавшихся в реакции перезарядки  ${}^3\text{He} + A \rightarrow {}^3\text{H} + \dots$  на разных ядрах и при различных энергиях. Эти эксперименты показали, что основной вклад в сечение перезарядки дают процессы с образованием дельта-изобары в ядре-мишени. При этом положения и ширины пиков в импульсном спектре тритонов, соответствующих возбуждению дельта-изобары, различны в реакциях перезарядки на водороде и на ядрах с  $A \geq 10$ . Уже на раннем этапе исследований авторы работы /3/ высказали гипотезу о возможной существенной роли эффектов коллективного возбуждения дельта-изобары в ядрах ( в частности, возможно образование "изоядер" - см. /6,7/). Позднее в ряде работ /4,8,9/ было показано, что импульсный спектр тритонов в реакции  ${}^3\text{He} \rightarrow {}^3\text{H}$  на водороде удается описать вполне удовлетворительно в рамках модели однопионного обмена. В реакциях же перезарядки на ядрах расчетный спектр тритонов, полученный в предположении, что реакция происходит на квазисвободных нуклонах ядра-мишени, существенно отличается от экспериментального спектра. В работах /9,10/ были сделаны первые попытки учесть в расчете взаимодействие дельта-изобары с нуклонами ядра-мишени. Однако достаточно однозначной интерпретации экспериментальных фактов теория пока дать не может (см., например, /II/).

Нами в настоящее время ведется обработка материала по исследованию реакций  ${}^3\text{H} + \text{Mg} \rightarrow {}^3\text{He} + \dots$  и  ${}^3\text{H} + \text{Ne} \rightarrow {}^3\text{He} + \dots$  при 9,1 ГэВ/с. Главное отличие от предшествующих инклюзивных экспериментов /I-5/ заключается в возможности получения детальной информации о характеристиках заряженных частиц, сопровождающих

процесс перезарядки. На информативность и важность таких экспериментов обращали внимание авторы работы /12/.

Эксперимент проводился на установке ГИЭС, расположенной на пучке медленного вывода синхрофазотрона ЛВЭ ОИЯИ. Основной регистрирующей частью установки является стримерная камера с чувствительным объемом  $2 \times 1 \times 0,6$  м, расположенная в магнитном поле напряженностью около 0,9 Тл и наполненная неоном при атмосферном давлении. Поскольку непосредственное ускорение ядер трития сопряжено с серьезными техническими проблемами, мы использовали вторичный тритиевый пучок. В синхрофазотроне ускорялись ядра  $^4\text{He}$  до импульса 12 ГэВ/с. После вывода из синхрофазотрона пучок попадал на мишень из полистирола толщиной около 3 г/см<sup>2</sup>. Вся последующая часть канала длиной около 100 м, включающая три поворотных магнита и семь дублетов линз, настраивалась на транспортировку однозарядных частиц с импульсом 9 ГэВ/с. Проверка состава пучка показала, что примеси к тритию в пучке пренебрежимо малы. Средний импульс ядер трития по проведенным измерениям равен  $9,10 \pm 0,06$  ГэВ/с. Полная ширина импульсного распределения на половине высоты - около 1 ГэВ/с. Магниева мишень устанавливалась внутри чувствительного объема стримерной камеры примерно в 60 см от входного окна. Такое расположение мишени позволило регистрировать вторичные заряженные частицы практически в 4π-геометрии. Сигнал запуска на камеру подавался в тех случаях, когда счетчики триггерной системы, расположенные за камерой, регистрировали частицу с зарядом 2. Счетчики имели размер 25x40 см и располагались за магнитом на расстоянии около 5м от мишени. Описание триггерной системы приведено в работе /13/.

При просмотре фотоматериала случаи перезарядки  $^3\text{H} \rightarrow ^3\text{He}$  в

мишени и в газе камеры отбирались визуально по скачку плотности почернения трека в точке взаимодействия. Проведенные измерения подтвердили высокую надежность этой процедуры. Ядра  $^3\text{H}$  ( $\approx 9$  ГэВ/с,  $^3\text{He}$  ( $\approx 4,4$  ГэВ/с на единицу заряда), дейтоны ( $\approx 6$  ГэВ/с) и протоны ( $\approx 3$  ГэВ/с) уверенно разделяются по кривизне трека в магнитном поле (точность измерения импульса  $^3\text{He}$  около 2%).

В таблице приведены данные о топологии событий, т.е. о числе частиц с отрицательным ( $N_-$ ) и положительным ( $N_+$ ) зарядом, сопровождающих процесс перезарядки на ядрах неона и магния.

Таблица

| $N_-$ | $N_+$ | число событий |      | средний импульс $^3\text{He}$ (Mg) (ГэВ/с) |
|-------|-------|---------------|------|--|
|       |       | Ne            | Mg   |  |
| 0     | 0     | -             | 673  | $8,915 \pm 0,015$                          |
| 1     | 0     | 36            | 568  | $8,735 \pm 0,016$                          |
| 1     | 1     | 13            | 132  | $8,562 \pm 0,042$                          |
| 1     | 2     | 10            | 24   | -  |
| 1     | 3     | 4             | 7    | -  |
| 1     | 4     | 4             | 1    | -  |
| 1     | 5     | 1             | 0    | -  |
| 0     | 1     | 24            | 212  | $8,803 \pm 0,026$                          |
| 0     | 2     | 6             | 52   | $8,639 \pm 0,064$                          |
| 0     | 3     | 2             | 7    | -  |
| 0     | 4     | 0             | 1    | -  |
| 2     | 0     | 1             | 5    | -  |
| 2     | 1     | 0             | 7    | -  |
| 2     | 2     | 0             | 2    | -  |
| Всего |       | 110           | 1691 |  |



Для наиболее часто встречающихся топологий приведены также средние импульсы  ${}^3\text{He}$  по событиям на магниевой мишени. Мы не включили в таблицу данные по числу перезарядок в неоне, не сопровождающихся испусканием других (кроме гелия) заряженных частиц ("0"-топология), поскольку эффективность поиска таких событий может заметно отличаться от 100%, а измерения импульса гелия часто имеют низкую точность из-за того, что длина их треков в значительном числе случаев мала.

Сравнение топологических характеристик событий на неоне и магнии показывает, что на неоне доля многочучевых событий больше, чем на магнии. Это скорее всего объясняется методическими причинами. Магниевая мишень имела размеры 30x60x9 мм и большая часть заряженных частиц испарительного происхождения поглощалась в ней. В неоне же протоны с энергией 3-4 МэВ в большинстве случаев уверенно регистрируются.

В дальнейшем мы будем считать все отрицательно заряженные частицы  $\pi^-$ -мезонами, а положительно заряженные - протонами (при перезарядке трития в гелий на квазисвободном нуклоне образование  $\pi^+$ -мезонов должно быть сильно подавлено).

Большой интерес представляет группа событий, в которых перезарядка сопровождается испусканием единственной частицы - протона. Форма спектра и средняя энергия этих протонов (около 80 МэВ) явно свидетельствуют об их неиспарительном происхождении. Перезарядка  ${}^3\text{H} + {}^3\text{He}$  с испусканием только протона предсказана в теоретических работах /5,15,16/. Источником этих протонов являются процессы безмезонной разрядки ( $\Delta\text{N} \rightarrow \text{NN}$ ) дельта-изобары, возбужденной в ядре-мишени. Отличие средних импульсов гелия в топологии с одним протоном и в топологии с одним пионом (разница

68 ± 30 МэВ/с) подтверждает расчеты /15,16/, в соответствии с которыми безмезонная разрядка дельта-изобары ( $\Delta\text{N} \rightarrow \text{NN}$ ) является по крайней мере одной из причин уширения и смещения пика дельта-изобары в экспериментах /1-5/. В соответствии с /15,16/ должны быть также случаи перезарядки, сопровождающиеся испусканием двух нейтронов ( $\Delta^0\text{p} \rightarrow \text{pn}$ ,  $\Delta^- \text{p} \rightarrow \text{pn}$ ). В нашем эксперименте такие события должны попадать в топологию "0". Кроме них в эту топологию попадают случаи квазиупругой перезарядки и события, в которых дельта-изобара распадается с образованием нейтрального пиона. Долю квазиупругих перезарядок можно оценить по данным работ /1,5/ в следующих предположениях:

1. Доля квазиупругих перезарядок в реакциях  ${}^3\text{He} + \text{C} \rightarrow {}^3\text{H} + \dots$  и  ${}^3\text{H} + \text{Mg} \rightarrow {}^3\text{He} + \dots$  одинакова.
2. В интервале импульсов  ${}^3\text{He}$  7-11 ГэВ/с доля квазиупругих перезарядок при всех углах пропорциональна доле квазиупругих перезарядок под  $0^\circ$ .

Вычисленная в этих предположениях доля квазиупругих событий в  ${}^3\text{H} + \text{Mg} \rightarrow {}^3\text{He} + \dots$  оказывается равной  $(12 \pm 2)\%$ , т.е. число квазиупругих перезарядок в наших данных составляет  $203 \pm 35$ . В предположении, что реакция перезарядки происходит на квазисвободных нуклонах ядра-мишени, можно написать изотопические соотношения (см., например, /II/), связывающие число случаев перезарядки, сопровождающихся испусканием  $\pi^-$ - и  $\pi^0$ -мезонов. Число событий с нейтральными пионами, оцененное по этим изотопическим соотношениям, оказывается равным  $130 \pm 230$  в зависимости от степени подавления образования дельта-изобары в снаряде фактором  ${}^3\text{He}$ . Возможность интерференции диаграмм в оценке не учитывалась. Вычитая теперь число квазиупругих перезарядок и

перезарядок с испусканием нейтральных пионов из полного числа событий с топологией "0", видим, что остается еще около 250 событий. Весьма вероятно, что появление этих событий обусловлено процессами безмезонной разрядки  $\Delta^0 p \rightarrow pp$  и  $\Delta^- p \rightarrow pp$  /15,16/. В пользу этого говорит и средняя величина импульса гелия в группе событий с топологией "0", из которой исключены квазиупругие события (см. рис.1b). На этом рисунке в графическом виде представлены данные таблицы. Q - разность средних кинетических

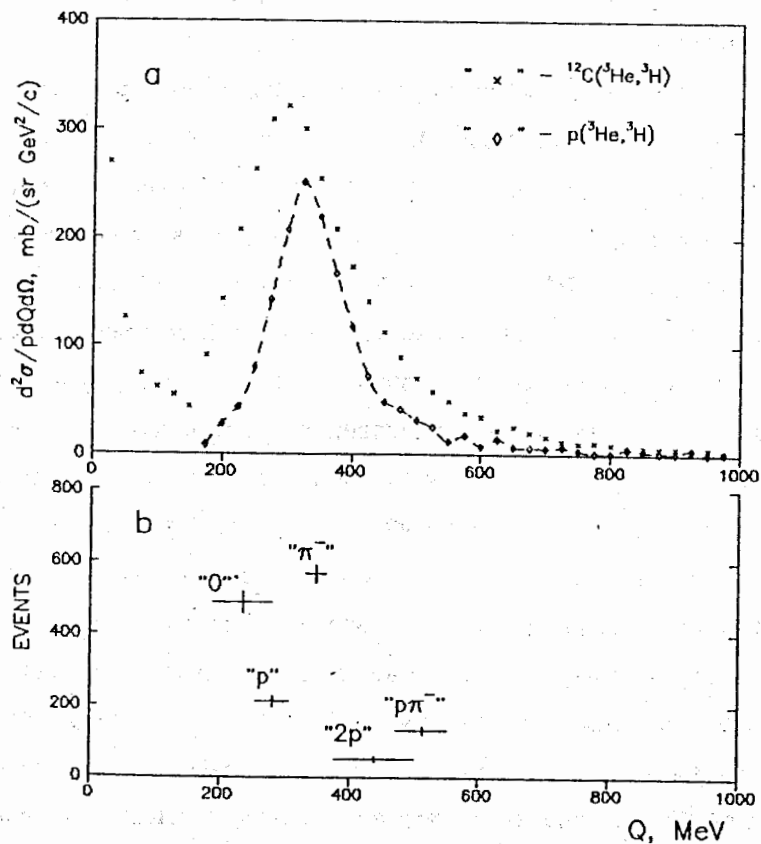


Рис.1

энергий трития ( $6,71 \pm 0,06$  ГэВ) и гелия для событий с разными топологиями. Каждой топологии на рисунке соответствует точка с абсциссой Q и ординатой, равной числу зарегистрированных событий с данной топологией. На рисунке 1a приведены данные из работ /1,8/ о спектре тритонов, образующихся в реакции  ${}^3\text{He} + \text{C} \rightarrow {}^3\text{H} + \dots$  (импульс гелия  $6,81$  ГэВ/с). Сопоставление этих данных с нашими дает новые весомые аргументы в пользу того, что наблюдаемое в /1-5/ смещение и расширение пика обусловлено, по крайней мере частично, коллективными эффектами, связанными с возбуждением дельта-изобары в промежуточном состоянии.

Мы благодарны Ф.А.Гарееву, С.М.Елисееву, В.И.Иноземцеву, Ю.Л.Ратису и Е.А.Строковскому за плодотворные дискуссии и полезные замечания.

#### Литература

1. Аблеев В.Г. и др. ЯФ, 1988, 48,27.
2. Contardo D. et al. Phys.Lett., 1986, B168,331.
3. Ableev V.G. et al. In: Proc.Int.Conf. on Few Body Problems in Physics. Karlsruhe,1983. Vol.2,p.267. Edited by B.Zeitnitz. North-Holland Publ.Comp.,1984. Письма в ЖЭТФ, 1984, 40, 35.
4. Ellegaard C. et al. Phys.Lett., 1985, B154, 110.
5. Аблеев В.Г. и др. ЯФ, 1991,53,457.
6. Гришин В.Г. и Подгорецкий М.И. ОИЯИ, P-1508, Дубна,1964.
7. Лексин Г.А., в сб.: Проблемы современной ядерной физики. М.: Наука, 1972, с.511.
8. Аблеев В.Г. и др. ЯФ, 1987, 46, 549.
9. Dmitriev V., O.Sushkov and C.Gaarde. Nucl.Phys., 1986, A459, 503.

10. Chanfray G. and M.Erickson. Phys.Lett., 1984, B141, 163.
11. Oset E., E.Shiino and H.Toki. Phys.Lett., 1989, B224, 249.
12. Елисеев С.М. и др. Труды 8 международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, ОИЯИ, Д2-86-668, 1986.
13. Беликов Ю.А. и др. ОИЯИ, PI-91-206, Дубна, 1991.
14. Ableev V.G. et al. In: Proc. Int. Symp. on Modern Developments in Nuclear Physics. June 27 - July 1, Novosibirsk, p.690. Edited by O.P.Sushkov. World Science Publ.Comp., Singapore, 1988.
15. Гареев Ф.А. и Ю.Л.Ратис. ОИЯИ, P2-89-805, Дубна, 1989. F.A.Gareev and Yu.L.Ratis, in: "Proc. Int. Workshop on Gross Properties on Nuclei and Nuclear Excitation", p.232. Edited by H.Feldmeier. Darmstadt, 1990. Yu.L.Ratis, E.A.Strokovsky, F.A.Gareev and J.S.Vaagen. Scientific Techn. Report 1991-11, Bergen, 1991.
16. Gareev F.A. and Yu.L.Ratis. JINR, E2-89-876, Dubna, 1989.

Рукопись поступила в издательский отдел  
29 мая 1991 года.