

КОЛЛЕКТИВНОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ Δ -ИЗОБАРЫ В РЕАКЦИЯХ ПЕРЕЗАРЯДКИ (${}^7\text{Li}$, ${}^7\text{Be}$) И (${}^3\text{H}$, ${}^3\text{He}$) ПРИ ИМПУЛЬСЕ 3 ГэВ/(с·НУКЛОН)

С.А.Авраменко, А.У.Абдурахимов, В.Д.Аксиненко, М.Х.Аникина,
Б.П.Банник, Ю.А.Беликов, В.А.Бутенко, Г.Л.Варденга, Ю.Н.Волков,
А.Г.Гальперин, Н.С.Глаголева, А.И.Голохвастов, В.А.Дроздов,
В.Ф.Завьялов, Н.И.Каминский, Э.В.Козубский, С.Н.Комарова,
Б.А.Кулаков, Ю.Лукстиньш, О.Ю.Мандрик, А.Т.Матюшин,
В.Т.Матюшин, С.В.Мухин, Н.М.Никитюк, Т.Г.Останевич,
Л.С.Охрименко, О.В.Охрименко, В.Б.Радоманов, П.А.Рукояткин,
И.С.Саитов, С.А.Седых, С.А.Хорозов, В.П.Кондратьев[□], Л.В.Краснов[□],
И.В.Степанов[□], И.Е.Шевченко[□], К.Гаевский^{*)}, Я.Мирковский^{*)},
З.Павловский^{*)}, А.Пиатковский^{*)}, Н.Н.Нургожин[†]), Е.К.Хусаинов[†]),
Ю.С.Поль[○]), Г.Г.Таран[○])

Объединенный институт ядерных исследований

141980, Дубна, Московская обл.

□) Государственный университет,

199164, Санкт-Петербург

*) Варшавский университет,

Варшава, Польша

†) Институт физики высоких энергий,

480082, Алма-Ата, Казахстан

○) Физический институт им.П.Н.Лебедева РАН

117924, Москва

Поступила в редакцию 6 мая 1992 г.

Реакция (${}^3\text{H}$, ${}^3\text{He}$) на Mg и Ne при импульсе 3 ГэВ/(с·нуклон) впервые исследовалась в 4 π -геометрии. Измерены полные сечения реакций (${}^3\text{H}$, ${}^3\text{He}$) и (${}^7\text{Li}$, ${}^7\text{Be}$) на ядрах N, C, Al, Si и Pb при том же импульсе на нуклон. Все полученные данные свидетельствуют о существенной роли эффектов коллективного возбуждения Δ -изобары в ядрах.

При изучении реакции (${}^3\text{He}$, ${}^3\text{H}$) и других реакций перезарядки при импульсах в несколько ГэВ/(с·нуклон) в Дубне (Россия) и в Сакле (Франция) было установлено, что подавляющий вклад в сечение подобных процессов вносит механизм с возбуждением Δ -изобары^{1,2}. Было также замечено, что Δ -пик в энергетическом спектре трития при перезарядке на ядрах сдвинут в жесткую сторону на величину порядка 40 МэВ и примерно в два раза шире, чем в случае перезарядки на свободных протонах.

Попытки теоретического описания полученных дифференциальных сечений в предположении рождения Δ -изобары на квазисвободном нуклоне не привели к успеху. Не удается удовлетворительно воспроизвести положение максимума и ширину резонансной части спектра. В связи с этим была выдвинута гипотеза о существенной роли коллективных эффектов при перезарядке на ядрах^{1,3}. Однако, как указывалось в⁴, S-волновой механизм и возбуждение Δ -изобары в снаряде в принципе тоже могут быть причинами сдвига и уширения ядерного Δ -пика. Таким образом, сделать вывод о природе замеченного эффекта на основании имевшихся данных было нельзя.

Главным отличием наших исследований от уже проводившихся является эксклюзивная постановка эксперимента, что и позволило получить новую важную информацию.

Работа была выполнена на пучке синхрофазотрона ОИЯИ с помощью спектрометра ГИБС. Пучок трития получался в результате фрагментации

ускоренных до 3ГэВ/(с-нуклон) ядер ${}^4\text{He}$ на дополнительной мишени из полистирола. Средний импульс отобранных магнитами канала ядер ${}^3\text{H}$ был равен $9,10 \pm 0,06$ ГэВ/с, ширина импульсного распределения на половине высоты – около 1ГэВ/с.

Основой экспериментальной установки является стримерная камера объемом $2,0 \times 1,0 \times 0,6$ м, наполненная Ne при атмосферном давлении и помещенная в магнитное поле напряженностью 0,9Тл^{5,6}. Мишень из Mg (30×60 мм, $1,56$ г/см²) располагалась внутри чувствительного объема камеры.

Полные сечения реакций (${}^3\text{H}$, ${}^3\text{He}$) и (${}^7\text{Li}$, ${}^7\text{Be}$) измерялись электронной методикой с использованием сцинтилляционных счетчиков.

Детали экспериментов описаны в ⁷⁻⁹. Здесь же мы приведем основные результаты.

Таблица 1

N_-	N_+	Число событий перезарядки $\text{Mg}({}^3\text{H}, {}^3\text{He})$	Средняя передача импульса (ГэВ/с)
0	0	673	$0,19 \pm 0,06$
1	0	568	$0,37 \pm 0,06$
1	1	132	$0,54 \pm 0,07$
1	2	24	
1	3	7	
1	4	1	
1	5	0	
0	1	212	$0,30 \pm 0,07$
0	2	52	$0,46 \pm 0,09$
0	3	7	
0	4	1	
2	0	5	
2	1	7	
2	2	2	
Всего		1691	

В таблице 1 представлены данные о топологии событий, то есть о числе частиц с отрицательным (N_-) и положительным (N_+) зарядом, сопровождающих процесс перезарядки ${}^3\text{H}$ на ядрах Mg . Здесь же приведены значения средних переданных ядру мишени импульсов для наиболее вероятных топологий.

Полностью идентифицировать частицы в стримерной камере затруднительно, однако, так как образование π^+ -мезонов при перезарядке (${}^3\text{H}$, ${}^3\text{He}$) должно быть сильно подавлено, в дальнейшем будем считать все отрицательно заряженные частицы π^- -мезонами, а положительно заряженные – протонами.

В случае протекания реакции (${}^3\text{H}$, ${}^3\text{He}$) на квазисвободном нуклоне наблюдались бы только топологии $(0p, 0\pi^-)$, $(0p, 1\pi^-)$ и $(1p, 1\pi^-)$ ⁴. Реально же примерно в 20% событий получают другие наборы заряженных частиц. Большой интерес представляет, например, группа событий, в которых перезарядка сопровождается испусканием единственного протона. Форма энергетического спектра и средняя энергия этих протонов (около 80 МэВ) явно свидетельствуют об их неиспарительном происхождении. Перезарядка с испусканием только протона была предсказана в работах^{10,11}. Источником этих протонов являются процессы безмезонной разрядки ($\Delta^0 p \rightarrow np$) Δ^0 -изобары, возбужденной в ядре-мишени.

Наряду с этими процессами должны быть и случаи взаимодействий ($\Delta^0 n \rightarrow nn$) и $\Delta^- p \rightarrow nn$). Такие события содержатся в группе с топологией $(0p, 0\pi^-)$. Кроме них в эту топологию попадают случаи квазиупругой

перезарядки и события, в которых Δ^0 -изобара распадается с образованием π^0 -мезона. Долю квазиупругих перезарядок можно оценить по данным работы ¹ в следующих предположениях: а) долю квазиупругих перезарядок в реакциях $C(^3He, ^3H)$ и $Mg(^3He, ^3He)$ одинакова; б) в интервале импульсов 3He $7 \div 11$ ГэВ/с доля квазиупругих перезарядок при всех углах пропорциональна доле квазиупругих перезарядок под 0° . Число событий с нейтральными пионами без учета интерференции диаграмм можно получить из изотопических соотношений между каналами с испусканием π^0 - и π^- -мезонов в предположении квазисвободного возбуждения Δ -изобары ⁴. И после вычитания числа квазиупругих перезарядок и перезарядок с испусканием нейтральных пионов из полного числа событий с топологией $(0p, 0\pi^-)$ остается еще около 250 событий. Весьма вероятно, что появление этих событий и обусловлено процессами $(\Delta^0 n \rightarrow nn)$ и $(\Delta^- p \rightarrow nn)$.

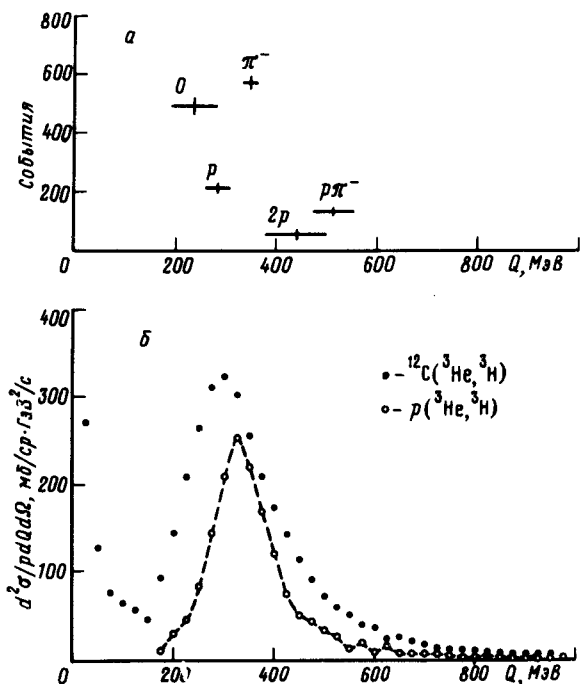


Рис.1. а - Корреляция средней переданной энергии Q и топологии событий перезарядки ($^3H, ^3He$). Здесь 0 - группа событий с топологией $(0p, 0\pi^-)$, π^- - с топологией $(0p, 1\pi^-)$ и т.д.; б - спектры переданной энергии Q в реакциях $C(^3He, ^3H)$ и $p(^3He, ^3H)$ при $P_{^3He} = 6, 8$ ГэВ/с по данным ¹

Рис.1а иллюстрирует обнаруженную нами сильную корреляцию между средней переданной энергией и топологией события. Из группы $(0p, 0\pi^-)$ здесь исключены события квазиупругих перезарядок. Различие среднего переданного импульса 3He в топологиях $(1p, 0\pi^-)$ и $(0p, 1\pi^-)$ на величину порядка 70 МэВ/с (см. табл.1) согласуется с расчетами ^{10,11}. Таким образом, процессы $(\Delta N \rightarrow NN)$ являются по крайней мере одной из причин уширения и сдвига ядерного Δ -пика в экспериментах ^{1,2} (см. рис.1б).

Корреляция среднего переданного импульса со множественностью и сортом частиц сопровождения указывает на некаскадный характер образования этих частиц. Если бы эти частицы рождались не в одном и том же акте взаимодействия вместе с перезарядкой (а в результате вторичного взаимодействия нуклона отдачи), то могла бы наблюдаться только слабая монотонно возраста-

ющая зависимость множественности сопровождающих частиц от переданного импульса, обусловленная влиянием закона сохранения энергии-импульса.

Таблица 2

Мишень	σ_{ce} (мбн) (${}^7\text{Li}$, ${}^7\text{Be}$)	σ_{ce} (мбн) (${}^3\text{H}$, ${}^3\text{He}$)
H	$0,18 \pm 0,05$	$0,71 \pm 0,06$
C	$0,29 \pm 0,03$	$1,96 \pm 0,15$
Al	$0,42 \pm 0,04$	$2,55 \pm 0,20$
Cu	$0,53 \pm 0,05$	$3,42 \pm 0,27$
Pb	$0,84 \pm 0,08$	$4,88 \pm 0,39$

Численные значения измеренных нами полных сечений реакций (${}^3\text{H}$, ${}^3\text{He}$) и (${}^7\text{Li}$, ${}^7\text{Be}$) приведены в таблице 2.

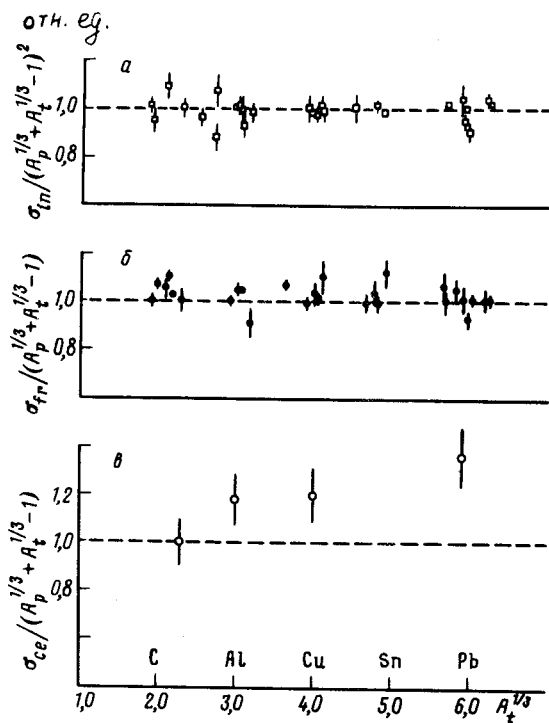


Рис.2. а - А-зависимость сечений неупругого взаимодействия для различных ядер по данным 12-14; б - А-зависимость сечений фрагментации по данным 13; в - А-зависимость сечений перезарядки (${}^7\text{Li}$, ${}^7\text{Be}$)

Полученную же А-зависимость этих сечений необходимо рассмотреть особо. Полные сечения неупругих ядро-ядерных взаимодействий удовлетворительно описываются формулой $\sigma_{in} \sim (A_p^{1/3} + A_t^{1/3} - b)^2$ (рис.2а). В рамках этой же геометрической модели естественно предположить для периферических реакций А-зависимость вида $\sigma_{per} \sim (A_p^{1/3} + A_t^{1/3} - b)$ с тем же самым значением параметра перекрытия b . Рис.2б показывает, что по крайней мере для реакций фрагментации это действительно так. В нашем случае требование

сохранить перезаряженное ядро как целое накладывает ограничение на максимальный переданный импульс (на минимальный прицельный параметр) в процессе перезарядки. На существенную роль форм-фактора снаряда для реакции (${}^3\text{He}, {}^3\text{H}$) указывалось, например, в ¹. Другими словами перезарядка должна проходить на периферии ядра. Исходя из этих соображений, можно было бы ожидать такой же, как и для реакций фрагментации, ход полных сечений процесса (${}^7\text{Li}, {}^7\text{Be}$). Тем не менее это оказалось не так (см.рис.2в). Фитирование экспериментальных данных потребовало введения дополнительного члена $\sim A_t^{2/3}$. Аналогичная картина наблюдается и для A -зависимости полных сечений реакции (${}^3\text{H}, {}^3\text{He}$).

Этот эффект также был предсказан в работе ¹⁰. Именно процессы безмезонной разрядки Δ -изобары ответственны за слагаемое $\sim A_t^{2/3}$.

Итак вся совокупность наших данных свидетельствует о существенной роли эффектов коллективного возбуждения Δ -изобары, то есть в реакцию перезарядки вовлекаются несколько нуклонов ядра.

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

-
1. В.Г.Аблеев и др., Письма в ЖЭТФ **40**, 35 (1984).
 2. D.Contardo et al., Phys. Lett. B **168**, 331 (1986).
 3. V.Dmitriev et al., Nucl. Phys. A **450**, 503 (1986).
 4. E.Oset et al., Phys. Lett. B **224**, 249 (1989).
 5. С.Н.Базылев и др., ОИЯИ Р10-90-533, Дубна, 1990.
 6. Ю.А.Беликов и др., ОИЯИ Р1-91-209, Дубна, 1991.
 7. С.А.Авраменко и др., ОИЯИ Р1-91-206, Дубна, 1991.
 8. С.А.Авраменко и др., ОИЯИ Р1-91-239, Дубна, 1991.
 9. С.А.Авраменко и др., ОИЯИ Р1-91-240, Дубна, 1991.
 10. Ф.А.Гареев, Ю.Л.Ратис, ОИЯИ Р2-89-805, Дубна, 1989.
 11. F.Gareev, and Yu.Ratis, JINR, E2-89-876, Dubna, 1989.
 12. V.D.Aksinenko et al., Nucl. Phys. A **348**, 518 (1980).
 13. G.D.Westfall et al., Phys. Rev. C **19**, 1309 (1979).
 14. В.М.Головин и др., ОИЯИ Р1-88-175, Дубна, 1988.