

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 539.126.4

539.144

1-89-185

A 154

АБЛЕЕВ

Владимир Газимович

**ПЕРЕЗАРЯДКА ЯДЕР ГЕЛИЯ-3 В ТРИТОНЫ
НА УГЛЕРОДЕ И ВОДОРОДЕ
С ВОЗБУЖДЕНИЕМ Δ -ИЗОБАР В МИШЕНИ
ПРИ ЭНЕРГИЯХ ОТ 7 ДО 11 ГэВ**

**Специальность 01.04.01 - экспериментальная
физика**

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук**

Дубна 1989

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований

Научные руководители:
кандидат физико-математических наук
младший научный сотрудник

СИТНИК
Игорь Михайлович

кандидат физико-математических наук
младший научный сотрудник

СТРОКОВСКИЙ
Евгений Афанасьевич

Официальные оппоненты:
доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник

АХИРЕЙ
Леонид Степанович

доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник

ГАПОНОВ
Дрий Владимирович

Ведущее научно-исследовательское учреждение:
Институт атомной энергии им. И.В.Курчатова, Москва

Защита диссертации состоится " " 1989 г.
в " " часов на заседании специализированного совета
Д-047.01.02 при Лаборатории высоких энергий Объединенного
института ядерных исследований, г. Дубна Московской области,
Лаборатория высоких энергий, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ

Автореферат разослан " " 1989 г.

Ученый секретарь
специализированного совета *Улиханов* М.Ф.Лихачев

Актуальность проблемы. Экспериментальные исследования с целью изучения спин-изоспиновых ($\sigma * \tau$) возбуждений ядерной материи с передачей в нее энергии около 300 МэВ, характерной для превращения нуклона в Δ -изобару, актуальны как для физики высоких энергий, так и для традиционной ядерной физики. Интерес к этому классу реакций вызван, прежде всего, возможным существованием коллективных состояний ядерного вещества, связанных с возбуждением виртуального пионного поля в ядерной среде. Вопрос о свойствах Δ -изобары в ядерном веществе и роли пиона в спин-изоспиновой функции отклика ядра до сих пор остается открытым. С учетом пионных степеней свободы связываются, например, в ядерной физике промежуточных энергий надежды на решение проблемы утечки силы гамов-теллеровского резонанса, а в физике высоких энергий подобные идеи предлагаются для объяснения ЕМС-превышения в области $x < 0,3$. Сигналы о коллективных Δ -изобарных возбуждениях могут проявиться в отличии характеристик Δ -изобарных возбуждений ядер от ожидаемых согласно привычной картине квазисвободного рождения изобары на движущемся нуклоне ядра. Обнаружение таких сигналов более вероятно в экспериментальных условиях, способствующих взаимодействию возникшей в ядре Δ -изобары с оставшимися нуклонами ядра, т.е. когда переданный ей импульс мал и сравним с фермиевским.

Постановка обсуждаемых опытов - регистрация тритонов $C(^3\text{He}, t)$ перезарядки под малыми углами ($\theta < 0,4^\circ$) при энергиях снаряда от 7 до 11 ГэВ обеспечивала благоприятные условия для взаимодействия возникшей в ядре Δ -изобары с оставшимися нуклонами ядра, поскольку в такой кинематике переданным энергиям $Q = E_b - E_t \approx 300$ МэВ (E_b, E_t - энергии ядер пучка и тритонов соответственно) отвечают малые переданные импульсы $\approx 300-400$ МэВ/с.

Цель работы - экспериментальные исследования реакций с передачей спина и изоспина при высоких энергиях возбуждения ядра и протона и совместный анализ этих реакций, направленный на поиск сигналов о коллективных Δ -возбуждениях ядерной материи (т.е. обусловленных не квазисвободным механизмом, сводящимся к учету эффектов ферми-движения и энергии связи внутриядерных нуклонов).

Новизна работы. Впервые измерены дифференциальные сечения реакций перезарядки ядер гелия-3 в тритоны на ядрах углерода и протонах с регистрацией тритонов под нулевым углом ($\leq 0,4^\circ$) и передачей энергии ядру-мишени до 700, 1175 и 1785 МэВ при импульсах пучка 4,40; 6,81 и 10,79 ГэВ/с соответственно.

Определены феноменологические характеристики реакции $C(^3\text{He}, t)$ перезарядки с возбуждением Δ -изобар в ядрах углерода и свободных протонах.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
БИБЛИОТЕКА

Проведенные исследования позволили впервые обнаружить, что при указанных энергиях в сечениях $\sigma(^3\text{He}, t)$ перезарядки доминируют процессы с высокими (~ 300 МэВ) энергиями возбуждения ядра-мишени. Анализ особенностей дифференциальных сечений реакции перезарядки на ядрах углерода указывает на существование эффектов коллективной природы при таких возбуждениях ядерного вещества.

Проведен расчет, позволивший оценить величину и характеристики этих эффектов.

Научная ценность работы заключается в следующем.

Измерены дифференциальные сечения реакции $\sigma(^3\text{He}, t)$ перезарядки с систематической погрешностью около 10% и статистической точностью $\sim 5\%$ на ядрах углерода и протонах при трех значениях энергии пучка и в одинаковых условиях, что позволило:

- 1) использовать данные по $\sigma(^3\text{He}, t)$ перезарядке для проверки существующих теоретических моделей адрон-ядерного взаимодействия и одномезонного обмена,
- 2) провести совместный анализ данных по перезарядке на ядрах углерода и свободных протонах, получить указание на существование эффектов коллективной природы в реакциях с Δ -возбуждением в ядрах и выделить характеристики Δ -ядерных возбуждений, свободных от примеси квазисвободного Δ -рождения,
- 3) провести проверку теоретической модели, использующей гипотезу о наличии в ядрах Δ -дырочных и пионных степеней свободы.

Практическая ценность работы. Полученные экспериментальные данные и их анализ могут быть использованы при планировании и проведении исследований в области физики высоких и промежуточных энергий при исследовании процессов с Δ -возбуждением в ядрах в качестве как изучаемой, так и фоновой реакций. Представленные результаты важны для исследований, планируемых на мезонной фабрике ИЯИ АН СССР, для изучения процессов распространения космических лучей в астрофизике, а также для задач радиационной безопасности.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на научных семинарах Лаборатории высоких энергий и Лаборатории теоретической физики ОИЯИ, на Международных конференциях в Карлсруэ^{1/} (ФРГ, 1983 г.), Гейдельберге^{2/} (ФРГ, 1984 г.), Висби^{4,5/} (Швеция, 1985 г.), а также сессии ядерного отделения АН СССР.

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в журналах "Письма в ЖЭТФ"^{3/}, "Ядерная физика"^{6,7/}, препринтах ОИЯИ^{1,3,6,7/} и материалах указанных выше Международных конференций и семинаров.

Объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и списка использованной литературы.

Автор защищает:

1) Экспериментальные данные о дифференциальных сечениях реакции перезарядки ядер гелия-3 в тритоны под 0° на ядрах углерода и на протонах при импульсах пучка 4,40; 6,81 и 10,79 ГэВ/с. Данные были получены при участии автора в измерениях на синхрофазотроне ОИЯИ. Измерения были выполнены с помощью магнитного спектрометра с пропорциональными камерами, созданного также при участии автора.

2) Процедуру математической обработки экспериментальных данных.

3) Результаты феноменологического анализа данных и их сравнения с теоретическими расчетами, выполненными рядом авторов в рамках моделей ОРЕ и ТМР Глаубера-Ситенко (с использованием известных данных о NN->NA сечениях).

4) Расчет по определению вклада в дифференциальные сечения реакции $\sigma(^3\text{He}, t)$ перезарядки от процесса квазисвободного рождения Δ -изобары и анализ в рамках предложенного подхода экспериментальных данных по квазисвободному Δ^0 -рождению в протон-ядерных реакциях при 3,88 ГэВ/с (КЕК, Япония).

5) Полученные феноменологические характеристики Δ -ядерных возбуждений в реакции $\sigma(^3\text{He}, t)$ перезарядки, свободных от примеси квазисвободного Δ -рождения.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во Введении обосновывается актуальность исследований по высоким спин-изоспиновым возбуждениям ядер, приводится краткий обзор экспериментальной и теоретической ситуации обсуждаемой проблематики.

В первой главе содержится описание постановки опытов по измерению импульсных спектров тритонов из реакции перезарядки, испущенных под малыми углами, которые были выполнены на синхрофазотроне ОИЯИ с помощью магнитного спектрометра с пропорциональными камерами.

На рис. I показана схема установки. Пучок ядер гелия-3 интенсивностью 10^8 - 10^{10} частиц за цикл ускорения и импульсом 4,40; 6,81 и 10,79 ГэВ/с выводился из ускорителя за 0,3-0,5 сек. Пучок направлялся на углеродную ($3,446$ г/см²) или полиэтиленовую ($3,763$ г/см²) мишень Т; поток ядер пучка, перехваченный мишенью, определялся с помощью сцинтилляционных телескопов T_1 и T_2 . Вылетевшие вперед тритоны отклонялись на угол ~ 150 мрад магнитом М0 и регистрировались в спектрометре, где измерялись их импульсы (с помощью М1) и параметры траекторий. Прямой пучок и продукты других реакций, имевшие отличную от тритонов магнитную жесткость, поглощались защитой. Полный

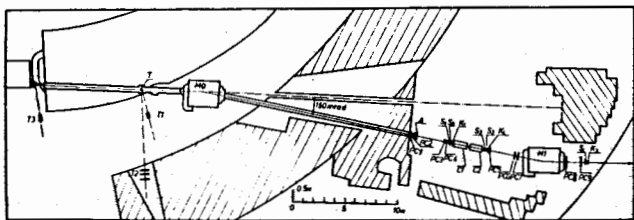


Рис.1. Схема расположения детекторов установки. PS-многопроволочные пропорциональные камеры, SK-сцинтилляционные счетчики, C-пороговые черенковские счетчики (были включены в состав установки только в опыте с импульсом пучка 10,79 ГэВ/с).

импульсный спектр тритонов перезарядки был получен в результате серии измерений при разных значениях напряженностей магнитных полей в МО и М1, которые контролировались с точностью $\approx 0,1\%$ с помощью датчиков Холла. Их отношение поддерживалось постоянным (с точностью $\approx 1\%$) при переходе от одного участка импульсного спектра к другому. Магниты были прокальброваны с точностью $\approx 0,3\%$ методом токонесущей нити.

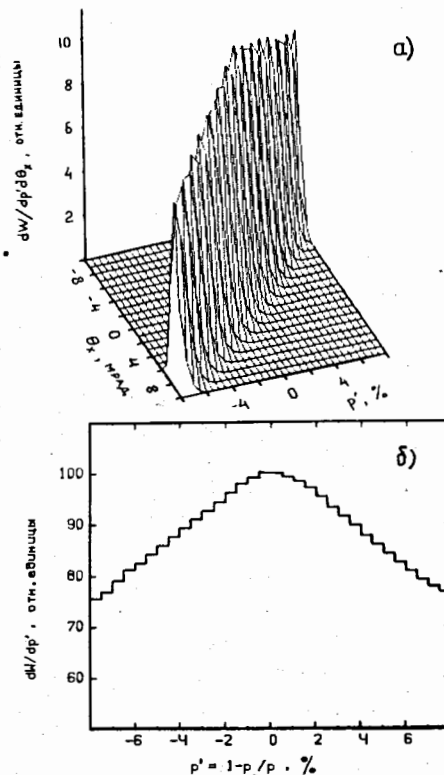
Накопление данных проводилось в двух режимах: TR1 и TR2. Основным режимом был TR2 = S1 \wedge S2 \wedge S3 \wedge S4 \wedge "I-ПК1,4", где условие срабатывания соответствующих сцинтилляционных счетчиков дополнялось условием срабатывания одной и только одной сигнальной проволоки в I-й и 4-й пропорциональных камерах. Контроль эффективности детекторов установки проводился в режиме TR1 = K1 \wedge K2 \wedge K3 \wedge S0 со сцинтилляционными счетчиками меньшего размера.

Во время измерений при импульсе пучка 10,79 ГэВ/с в области больших переданных энергий $Q \geq 1500$ МэВ, где выход дейтронов из реакции фрагментации начинает доминировать над выходом тритонов перезарядки, был введен дополнительный режим отбора событий TR3 = TR2 \wedge C1 \wedge C2 с условием на срабатывание пороговых черенковских счетчиков C1 и C2.

Вторая глава посвящена процедуре математической обработки накопленной информации и методике определения сечений. Обработка проходила в три этапа. Принятая последовательность диктовалась минимизацией ресурса времени ЭВМ.

На первом этапе магнитные ленты, записанные в ходе эксперимента на ЭВМ ЕС1010, обрабатывались на ЭВМ БЭСМ-6 с целью фильтрации, перекодировки и записи информации на DST-ленты.

Рис.2. Геометрическая эффективность спектрометра: а) как функция импульса $p' = I - p_0/p$ и угла вылета частицы из мишени θ_x (проекция на горизонтальную плоскость). Средние эти величины связаны зависимостью $\langle p' \rangle = -1,15 \langle \theta_x \rangle$; в) то же после интегрирования по θ_x .



Задачей второго этапа являлись выработка дополнительных критериев отбора полезных событий, определение характеристик спектрометра и получение сечений в относительных единицах для каждой группы событий (при фиксированных значениях напряженностей магнитных полей в МО и М1). Распределения событий, прошедших все критерии отбора и поправленных на геометрическую и аппаратные эффективности спектрометра, а также монитормые числа записывались на носитель на магнитном диске (МД).

В результате анализа информации, накопленной в контрольном (TR1) и в рабочих (TR2, TR3) режимах, были определены характеристики спектрометра:

- импульсное разрешение спектрометра $\sigma_p/p \approx 0,4-0,5\%$ (разрешение по переданной энергии σ_Q составило 19, 24 и 52 МэВ для пучка с импульсом 4,40; 6,81 и 10,79 ГэВ/с соответственно),

- точность определения координат точки взаимодействия частицы в мишени, находившихся экстраполяцией траектории частицы в район местоположения мишени, составила $\sigma_{x,y} \approx 10$ мм,

- угловой захват для тритонов с фиксированным импульсом был равен $\pm 1,5$ мрад; точность определения углов вылета частиц из мишени была равна 0,8 мрад,

- аппаратная эффективность спектрометра составляла величину $\approx 80\%$; геометрическая эффективность (см. рис.2) вычислялась методом Монте-Карло, и на границах принятого импульсного акцептанса соответствующая поправка не превышала 30%.

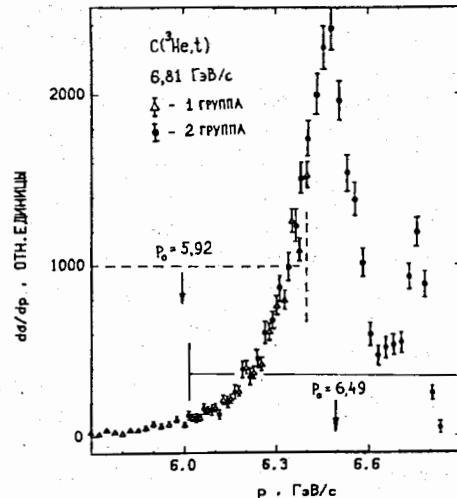
Полученные с точностью до общего коэффициента нормировки сечения для каждой группы событий (при фиксированных значениях напряженностей магнитных полей в МО и МИ) сравнивались между собой в области перекрытия импульсных спектров. Если сечения в области перекрытия не совпадали в пределах статистических ошибок, соответствующие группы подвергались ревизии с целью поиска возможных ошибок в процедуре обработки или в работе аппаратуры. Кроме того, несогласованность сечений на краях импульсных спектров для разных групп может возникнуть (при наличии угловой зависимости в изучаемом процессе) из-за сильной корреляции импульсного и углового аксептансов установки (см. рис.2), которая приводит к тому, что частицы с одинаковым импульсом, но из разных групп, могут иметь разные значения углов вылета из мишени.

Во всех случаях несогласованности сечений интервал отбора событий по импульсу сужался, и все группы обрабатывались заново. В результате был подобран импульсный интервал $|p-p_0|/p_0 \leq 6\%$, который для всех групп событий удовлетворял условию согласованности сечений в области перекрытия импульсных спектров. Этому условию отвечает захват по углу вылета частиц из мишени $|\theta_x| \leq 7$ мрад, $|\theta_y| \leq 1,5$ мрад. В качестве иллюстрации на рис.3 приведены спектры тритонов для двух близких по p_0 групп событий в опыте при 6,81 ГэВ/с.

Третий этап состоял в обработке информации с МД с целью учета фона и других необходимых поправок, нормировки сечений и феноменологического анализа полученных данных.

Вклад фона оценивался при измерениях, выполненных на "пустой" мишени. По отношению к выходу событий на углеродной мишени фон

Рис. 3. Импульсные спектры тритонов из разных групп. Частицам с импульсом $p=5,92$ ГэВ/с отвечают углы $\langle \theta_x \rangle \approx 0$ мрад (из 1-й группы) и $\langle \theta_x \rangle \approx 7$ мрад (из 2-й группы). Частицам с импульсом $p=6,49$ ГэВ/с: $\langle \theta_x \rangle \approx -9$ мрад (1-я группа) и $\langle \theta_x \rangle \approx 0$ мрад (2-я группа).



составлял величину не более 10% как в реакции перезарядки, так и в реакции фрагментации при всех наших энергиях и во всем диапазоне импульсов регистрируемых частиц.

Сечения перезарядки на протонах были получены разностным методом из измерений с углеродной и полиэтиленовой мишенями. Точность их абсолютной нормировки составила $\sim 13\%$, 10% и 8% при импульсах пучка 4,40; 6,81 и 10,79 ГэВ/с соответственно. Она практически целиком определялась погрешностью нормировки сечений перезарядки на углероде, проведенной следующим образом. В ходе эксперимента были измерены (без изменений геометрических характеристик установки, т.е. в тех же относительных единицах) сечения $C(^3\text{He}, d)$ стриппинга в области максимума выхода фрагментов ($p \approx 2/3 p_0$, где p_0 - импульс ядер пучка). Таким образом, для получения сечений перезарядки в абсолютных единицах достаточно было определить абсолютную нормировку сечений стриппинга при $p \approx 2/3 p_0$. Эти сечения при 10,79 ГэВ/с были известны с точностью не хуже 7%; для меньших импульсов было использовано то обстоятельство, что в области максимума сечения стриппинга не зависят от импульса снаряда с точностью не хуже 10%. Корректность описанной процедуры подтверждается совпадением отнормированных таким образом сечений перезарядки при 6,81 ГэВ/с с сечениями, полученными в опыте с прямым мониторингом пучка.

В третьей главе диссертации проводится анализ измеренных инвариантных сечений $p(^3\text{He}, t)$ реакции и их сравнение с теоретическими расчетами.

Для корректного анализа дифференциальных сечений, измеренных при разных энергиях первичного пучка, учитывалось искажение формы спектра, вносимое импульсным разрешением установки. Для этого был использован метод деконволюции гистограмм. Экспериментальные данные аппроксимировались сверткой $F(E, Q)_C$ пробной функции $F(E, Q)$ с аппаратной функцией разрешения спектрометра, взятой в гауссовой форме:

$$F(E, Q)_C = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_Q} \int_{-3\sigma_Q}^{3\sigma_Q} F(E, Q-Q_1) \exp(-Q_1^2/2\sigma_Q) dQ_1. \quad (3.1)$$

Не искаженные импульсным разрешением дифференциальные сечения (рис.4) находились согласно соотношению

$$\left(\frac{d^2\sigma}{p d\Omega dQ} \right)_{\text{попр.}} = \frac{F(E, Q)}{F_C(E, Q)} \left(\frac{d^2\sigma}{p d\Omega dQ} \right)_{\text{изм.}} \quad (3.2)$$

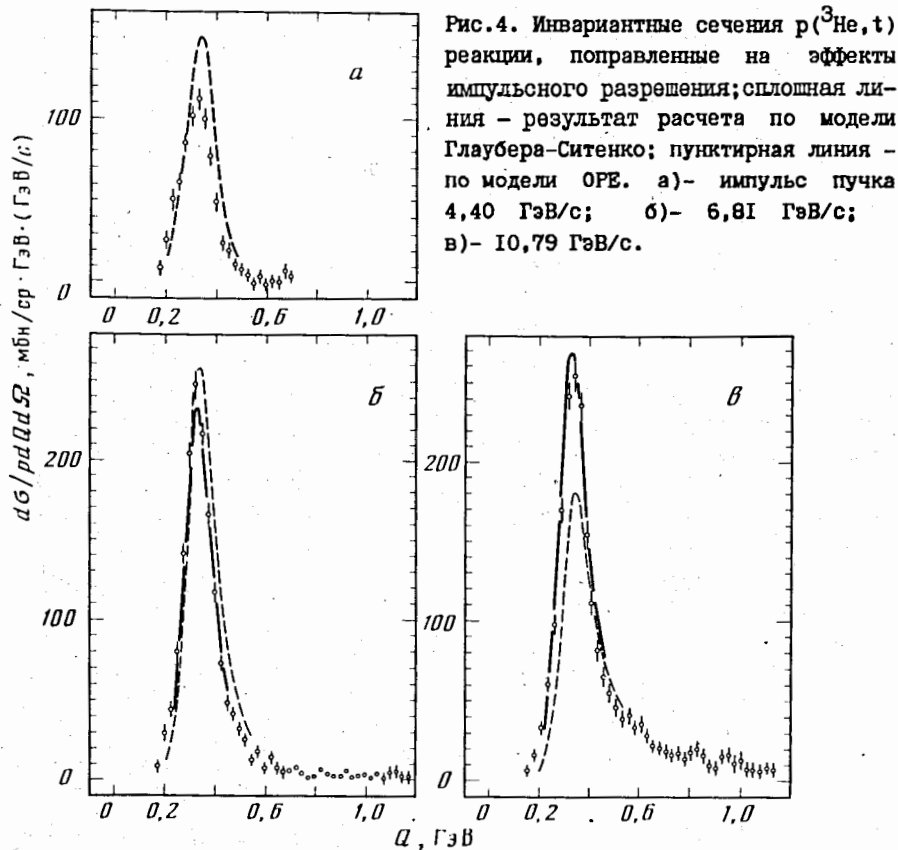


Рис.4. Инвариантные сечения $p(^3\text{He}, t)\Delta^{++}$ реакции, поправленные на эффекты импульсного разрешения; сплошная линия - результат расчета по модели Глаубера-Ситенко; пунктирная линия - по модели ОРЕ. а)- импульс пучка 4,40 ГэВ/с; б)- 6,81 ГэВ/с; в)- 10,79 ГэВ/с.

Выбор пробной функции $F(E, Q)$ основывался на структуре диаграммы однопионного обмена; учитывались лишь главные факторы, определяющие форму спектра:

$$F(E, Q) = A_E f(t) \phi(\omega) \Delta(\omega, t).$$

Здесь A_E - нормировочный множитель, зависящий от энергии ядер пучка, $f(t) = \exp(R^2 t/3)$ - магнитный формфактор гелия-3, в котором $R^2 = r_{эм}^2 - r_N^2$, $r_{эм} = 1,935$ фм, $r_N = 0,8$ фм; функция $\phi(\omega)$ описывает форму резонансной линии и $\Delta(\omega, t)$ - учитывает немассовые поправки.

Брейт-вигнеровские параметры ω_0 и Γ_0 , найденные при аппроксимации данных в области $Q \leq 500$ МэВ, хорошо согласуются между собой при всех наших энергиях. Их средние значения составляют $\langle \omega_0 \rangle = 1234 \pm 3$ МэВ и $\langle \Gamma_0 \rangle = 116 \pm 7$ МэВ и хорошо соответствуют табличным.

Для расчета дифференциальных сечений реакции $p(^3\text{He}, t)\Delta^{++}$ использовались модели ОРЕ и ТМР Глаубера-Ситенко, учитывающие перерасеяния нуклона-мишени и рожденной изобары на нуклонах ядра-снаряда и известные экспериментальные данные о сечениях реакции $pp \rightarrow n\Delta^{++}$. Результаты расчетов показаны на рис.4.

В четвертой главе диссертации анализируются данные по реакции $C(^3\text{He}, t)$ перезарядки. Измеренные дифференциальные сечения поправлялись на импульсное разрешение спектрометра с помощью той же процедуры (3.1) и (3.2) (см. рис.5). Функция $F(E, Q)$ бралась в форме

$$F(E, Q) = [W(E, Q) + R(E, Q)] f(t),$$

учитывая наличие двух пиков в дифференциальных сечениях. Функция $W(E, Q)$ аппроксимировала пик низколежащих ($Q \sim 200$ МэВ) ядерных возбуждений от реакции перезарядки $^{12}\text{C}(^3\text{He}, t)^{12}\text{N}^*$ (далее называемой "квазиупругой"), а функция $R(E, Q)$ - пик в области $Q \sim 300$ МэВ (далее называемый ядерным Δ -пиком).

Выбор функции $R(E, Q)$, как и ранее, основывался на предположении, что основной вклад в сечение реакции дает диаграмма однопионного обмена; ферми-движением нуклона в ядре и его связью пренебрегалось.

Главные особенности реакции перезарядки на ядре углерода, проявляющиеся в характере энергетической зависимости ее сечений и форме ядерного Δ -пика, состоят в следующем.

Относительный вклад от "квазиупругой" перезарядки в сечение $d\sigma/d\Omega$ (0°) по сравнению с вкладом от перезарядки с Δ -возбуждением быстро падает с ростом энергии снаряда (см. табл. и рис.5). Ядерный Δ -пик сдвинут к меньшим энергиям возбуждения по сравнению с Δ -пиком в реакции на протоне, а его ширина существенно больше. Отношение $R_{экс}$ сечений в области Δ -пика в реакции на ядре и протоне в два раза превышает величину $R_{теор} = 0,8$, ожидаемую из расчетов, выполненных по модели Глаубера-Ситенко с использованием данных о $NN \rightarrow N\Delta$ сечениях.

Анализ $C(^3\text{He}, t)$ данных показал, что наблюдаемые в этой реакции особенности Δ -пика нельзя объяснить в рамках механизма квазисвободного рождения Δ -изобары на одном из нуклонов ядра C . В случае квазисвободного рождения положение и форма ядерного Δ -пика определяются сверткой дифференциального сечения "элементарной" $p(^3\text{He}, t)$ реакции с функцией импульсного распределения нуклонов в углероде $\rho(\vec{p}_N)$:

$$\left(\frac{d^2\sigma}{p dQ d\Omega} \right)_C \sim \int d\vec{p}_N \rho(\vec{p}_N) I(\vec{p}_N) \left(\frac{d^2\sigma}{p dQ d\Omega} \right)_p(t(Q), \omega'(Q, \vec{p}_N)), \quad (4.1)$$

где $I(\vec{p}_N)$ - отношение потоков начальных частиц для реакции на покоящемся

Таблица. Основные характеристики дифференциальных сечений реакции $(^3\text{He}, t)$ перезарядки. В 4-й колонке приведены положения и ширины ядерных Δ -пиков, полученных из $S(^3\text{He}, t)$ сечений после вычитания вклада от квазисвободного Δ -рождения, рассчитанного по формуле (4.1) (линия точками на рис.5)

Импульс пучка, ГэВ/с	Позиция максимума и ширина Δ -пика (FWHM) в переменной Q (МэВ)			Относительный вклад в сечение $d\sigma/d\Omega(0^\circ)$ для $S(^3\text{He}, t)$ реакции в обл. $Q > 150$ МэВ	$R_{\text{экс}} = \frac{d\sigma(0^\circ)_C}{d\sigma(0^\circ)_P}$
	$p(^3\text{He}, t)$	$C(^3\text{He}, t)$	не квазисв.		
4.40	322±2.5 138±9	274±2.5 182±16	253±2 142±6	62%	1.82 ± 0.05
6.81	327±1.5 109±5	295±1.5 204±9	275±1 142±4	82%	1.77 ± 0.03
10.79	327±2 129±7	305±2 257±14	281±2 153±6	92%	1.95 ± 0.03

и движущемся с импульсом \vec{p}_N нуклоне; энергия такого нуклона дается соотношением

$$E_N = M_A - M_{A-1} - T_{A-1} = m - \varepsilon - p_N^2 / 2(M_A - m + \varepsilon),$$

где M_A - масса ядра мишени, m - масса нуклона, M_{A-1} - масса системы $A-1$ нуклонов, ε - энергия связи. В расчетах использовалась величина $\varepsilon = 25$ МэВ (средняя энергия связи для ядра углерода) и импульсное распределение $\rho(\vec{p}_N)$, отвечающее модели гармонического осциллятора. Сечение "элементарной" $p(^3\text{He}, t)\Delta^{++}$ реакции аппроксимировалось брейт-вигнеровской функцией с табличными параметрами. На рис.6 показан результат расчета (4.1) с нормировкой на величину $R_{\text{теор}} = 0,8$.

Для проверки этого расчета были проанализированы экспериментальные данные (рис.6) по квазисвободному Δ -рождению в протон-ядерной реакции (КЕК, Япония). В этом эксперименте изучалось квазисвободное рождение Δ^0 -изобар в реакциях $p+d, C, Al$ при 3.88 ГэВ/с в эксклюзивной постановке с регистрацией продуктов распада Δ^0 -изобары: $p + \pi^+ \rightarrow p' + \Delta^0, \Delta^0 \rightarrow p + \pi^-$. На рис.6 представлены эти данные в зависимости от переданной энергии $Q = E_p - E_{p'}$.

Наблюдаемый Δ -резонансный пик в реакциях на ядрах C и Al сдвинут в сторону больших переданных энергий по отношению к положению этого пика на дейтроне (в отличие от нашего опыта). Сплошной линией на этом рисунке показаны результаты расчетов на базе формулы (4.1) для этой

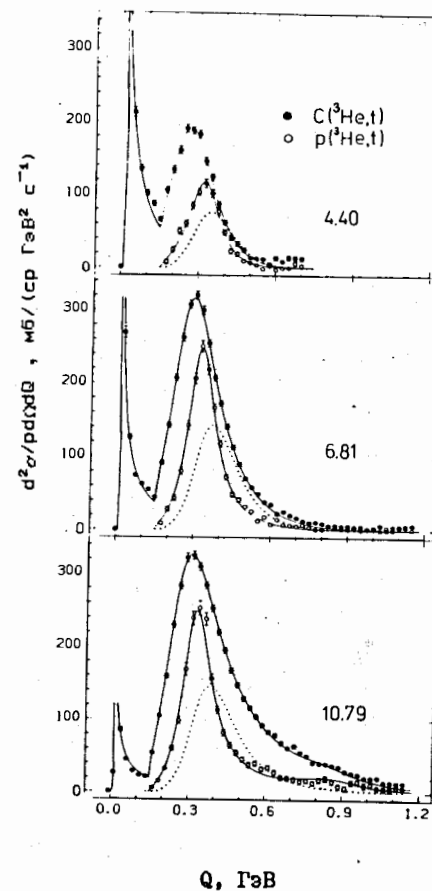


Рис.5. Инвариантные сечения $(^3\text{He}, t)$ реакции (после учета импульсного разрешения спектрометра). Линия точками - вклад от реакции квазисвободного Δ -рождения (формула (4.1)). Сплошные линии - результат аппроксимации брейт-вигнеровскими функциями.

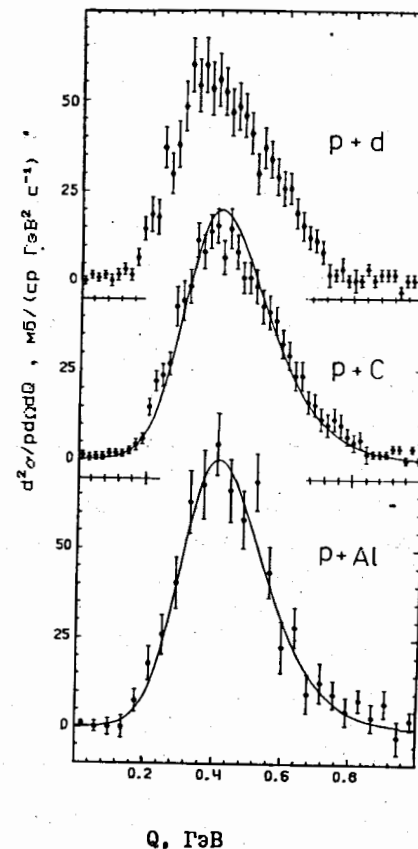


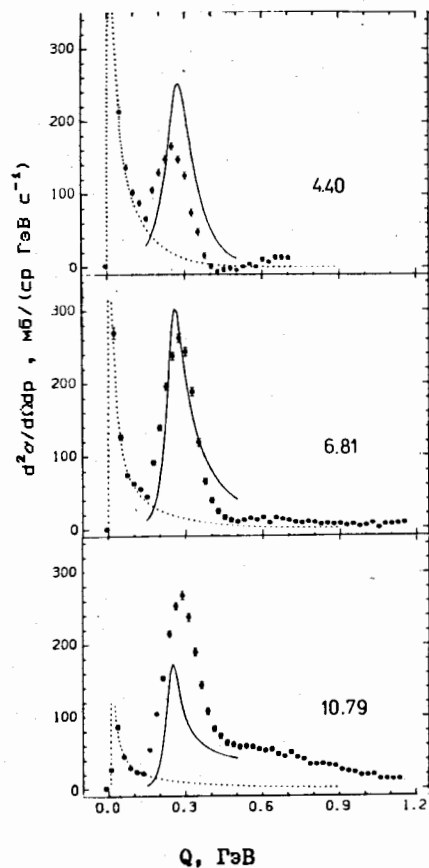
Рис.6. Спектры быстрых протонов из реакции $A(p, p')$ для квазисвободного Δ^0 -рождения. Сплошные линии - результат расчета (4.1) с учетом условий этого эксперимента. Расчет нормирован на максимум экспериментальных спектров.

реакции с учетом импульсного разрешения и кинематических условий эксперимента.

Рис.7. Сечения $C(^3\text{He}, t)$ перезарядки после вычитания вклада от квазисвободного Δ -рождения (см. линию точками на рис.5). Линия точками на этом рисунке – ожидаемый вклад фона "квазиупругой" перезарядки. Сплошные линии – расчет по модели В.Ф.Дмитриева.

Проведенный анализ позволил сделать вывод, что на основе квазисвободного механизма невозможно объяснить особенности Δ -рождения в изучаемой реакции $C(^3\text{He}, t)$ и что для описания реакции необходим учет коллективных эффектов, связанных с влиянием ядра на этот процесс. В качестве примера таких коллективных эффектов было рассмотрено формирование Δ -дырочных и пионных степеней свободы в подходе В.Ф.Дмитриева: после рождения на нуклонах ядра Δ -изобара распадается в основном с испусканием π -мезона, который из-за большой ширины изобары все еще находится в резонансе и может быть поглощен другим нуклоном, образуя вновь Δ -изобару, но уже в другой пространственной точке. Распространяющееся через ядерное вещество возбуждение является суперпозицией Δ -дырочных и пионных степеней свободы. При очень высоких плотностях, в области деконфайнмента кварков, такое возбуждение превращается в продольную спиновую волну в кварковой материи.

Для сравнения полученных данных с расчетами по этой модели из измеренных сечений $C(^3\text{He}, t)$ перезарядки был вычтен вклад, отвечающий квазисвободному рождению Δ -изобары в предположении, что различные



каналы изучаемой реакции не интерферируют друг с другом. Характеристики полученных после вычитания ядерных Δ -пиков приведены в таблице (четвертая колонка). На рис.7 представлены спектры тритонов, отвечающие неквазисвободной части дифференциальных сечений и расчеты по обсуждаемой выше модели. Как видно, имеется качественное согласие данных и расчета.

В Заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы:

1. Впервые при энергиях пучка от 5 до 11 ГэВ измерены дифференциальные сечения реакции перезарядки ядер гелия-3 в тритоны на ядрах углерода и протонах под нулевым углом со статистической точностью $\sim 5\%$ и систематической погрешностью около 10% .

2. Определены феноменологические характеристики реакций. Показано, что реакция перезарядки на протонах определяется, в основном, процессом Δ -возбуждения мишени, а в реакции перезарядки на ядрах углерода с ростом энергии снаряда доминируют процессы с высокими (≈ 300 МэВ) возбуждениями ядра-мишени, характеристики которых качественно отличаются от характеристик Δ -возбуждения протонов:

- а) максимум ядерного Δ -пика сдвинут к меньшим энергиям возбуждения,
- б) его ширина существенно (~ 2 раза) больше,
- в) отношение выхода реакции в области Δ -пика на ядре к выходу реакции на протонах в ~ 2 раза выше, чем ожидается на основе глауберовских расчетов.

3. Проведено сравнение экспериментальных данных реакции $p(^3\text{He}, t)$ с расчетами, которое показало, что реакция перезарядки ядер гелия-3 в тритоны на протонах удовлетворительно воспроизводится в рамках существующих теоретических подходов.

4. Выполнен расчет, позволивший сделать вывод, что особенности Δ -ядерных возбуждений нельзя объяснить в рамках механизма квазисвободного рождения Δ -изобары на нуклонах ядра-мишени. Выделены характеристики Δ -ядерных возбуждений, свободных от примеси квазисвободного Δ -рождения и проведено сравнение с теоретической моделью В.Ф.Дмитриева, которое показало качественное согласие расчета и эксперимента. Для окончательного вывода о природе наблюдаемых эффектов требуется более тщательный теоретический анализ с привлечением экспериментальных данных по Δ -рождению в других реакциях.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

- 1. Ableev V.G. et al., Δ -isobar excitation in carbon nuclei at $4.4+10.7$ GeV/c in charge-exchange reaction $(^3\text{He}, t)$, JINR, E1-83-486, Dubna, 1983;

то же в : "Few Body Problems in Physics - Contributed Papers", ed. by B.Zeitnitz, V.II, p.267, Elsevier Science Publishers, B.V.,1984;

2. Ableev V.G. et al., Investigation of the charge-exchange reaction (${}^3\text{He},t$) at 4.4-10.8 GeV/c with Δ -isobar excitation in carbon, in: "Particle and Nuclei - Tenth International Conference, Book of Abstracts ", ed. by F.Guttner, B.Povh, G.zu Putlitz, V.II, p.I-24,1984, Heidelberg.

3. Аблеев В.Г. и др., Возбуждение Δ -изобар в ядрах углерода в реакции перезарядки (${}^3\text{He},t$) при 4,37; 6,78 и 10,78 ГэВ/с, Письма в ЖЭТФ, т.40, 1984, стр.35;

то же - JINR, E1-84-438, Dubna, 1984.

4. Ableev V.G. et al., Excitation of Δ -isobar in the carbon nucleus in the (${}^3\text{He},t$) charge-exchange reaction at 4.37-18.3 GeV/c, in: "Nucleus-Nucleus Collisions II, Contributed Papers ", V.1, (ed. by B.Jakobson and K.Aleklett), p.169, Visbi, Sweden, 1985, Lunds Univ. Reprocentralen, 1985.

5. Ableev V.G. et al., Excitation of Δ -isobars in the (${}^3\text{He},t$) charge-exchange reaction on hydrogen at 4.37-18.3 GeV/c, там же, p.170.

6. Аблеев В.Г. и др., Перезарядка $p({}^3\text{He},t)$ при импульсах 4,4-18,3 ГэВ/с с рождением Δ -изобар, Ядерная физика, т.46, 1987, стр. 549;

то же - ОИЯИ, P1-86-435, Дубна, 1986.

7. Аблеев В.Г. и др., Перезарядка релятивистских ядер гелия-3 в тритоны на углероде с возбуждением Δ -изобар в ядре-мишени, Ядерная физика, т.48, 1988, стр.27;

то же - ОИЯИ, P1-87-374, Дубна, 1987.

Рукопись поступила в издательский отдел
17 марта 1989 года.