

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

K953

1-88-860

КУТУЕВ
Рим Хакимович

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ ПРОТОНОВ,
ИСПУСКАЕМЫХ В ЗАДНЮЮ ПОЛУСФЕРУ
В РЕАКЦИИ $p + A \rightarrow \bar{p} + X$
ПРИ ЭНЕРГИИ 640 МэВ**

Специальность: 01.04.01 — экспериментальная физика

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

Дубна 1988

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем
Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:
доктор физико-математических наук Р.Я. Зулкарнеев

Официальные оппоненты:
доктор физико-математических наук,
профессор В.А. Никитин

доктор физико-математических наук Л.С. Воробьев

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Харьковский
физико-технический институт, г. Харьков.

Защита диссертации состоится "___" _____ 1989 г.
в _____ час. на заседании Специализированного совета
Д 047.01.03 при Лаборатории ядерных проблем Объединенного института
ядерных исследований, г. Дубна Московской области.

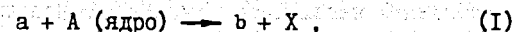
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан "___" _____ 1988 г.

Ученый секретарь Специализированного совета
доктор физико-математических наук В.А. Батусов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. В конце 60-х годов было обнаружено явление испускания частиц из ядер в область, кинематически запрещенную для реакций на свободном нуклоне. Впоследствии такие процессы стали называть кумулятивными. Достаточно быстро были накоплены экспериментальные данные о спектрах инклюзивно регистрируемых частиц в реакциях типа



анализ которых показал наличие ряда характерных свойств этого процесса. Было предложено более десяти теоретических моделей, удовлетворительно описывающих инклюзивные сечения в реакциях типа (I). Стало ясно, что нужны эксперименты (помимо измерения инклюзивных сечений), несущие дополнительную информацию о реакции. Одной из независимых характеристик реакции является поляризация инклюзивно регистрируемых протонов, испускаемых в этом процессе. Поэтому измерения поляризации на различных ядрах и при различных энергиях как налетающих, так и регистрируемых частиц были весьма желательны и актуальны.

Цель работы состояла в исследовании поляризации кумулятивных протонов в реакции $p + A \rightarrow \bar{p} + X$ при энергии налетающего протона 640 МэВ и анализе полученных данных.

Энергия инклюзивно регистрируемых нами протонов была в диапазоне 120–235 МэВ. Измерение спектров кумулятивных протонов, вылетающих из ядер углерода, проводилось при углах 90°, 110°, 130°, 150 градусов в лабораторной системе координат. Зависимость поляризации от атомного номера ядра-мишени исследовалась при углах 90° и 130 градусов. Кроме того, для ядер углерода нами проведено исследование поляризации при углах регистрации 57,5° и 70 градусов, то есть в условиях, близких к кинематически разрешенным для рассеяния на свободном нуклоне.

Научная новизна. Впервые было проведено систематизированное исследование поляризации кумулятивных протонов в реакции $p + A \rightarrow \bar{p} + X$ при энергии 640 МэВ: изучены зависимость поляризации от угла вылета протонов, от кинетической энергии и от атомного номера ядра-мишени. В рамках механизма прямого выбивания протонов из ядер впервые были произведены расчеты поляризации и их сравнение с экспериментальными результатами для промежуточных энергий налетающих частиц.

Практическая ценность

1. Разработана методика измерения поляризации инклюзивно регистрируемых протонов при наличии большого количества \bar{L} -мезонов в исследуемом пучке. Особенностью подобных измерений является необходимость надежной идентификации протонов для исключения систематической ошибки, связанной с примесью \bar{L} -мезонов. Эта методика может быть использована для измерения поляризации протонов с энергией до 250 МэВ на любом пучке частиц.

2. На основе разработанной методики были созданы экспериментальная установка и комплекс программ, с помощью которых проведено экспериментальное исследование поляризации в реакции $p + A \rightarrow \bar{p} + X$ при энергии 640 МэВ.

3. В результате наших исследований установлено, что:

а) поляризация кумулятивных протонов, во всяком случае при промежуточных энергиях, невелика, не превышает 15-20%, и существенно зависит от угла регистрации протонов;

б) она слабо зависит от энергии кумулятивных протонов;

в) с ростом атомного номера ядра-мишени поляризация уменьшается.

4. Создана программа и впервые проведены численные расчеты поляризации и анализирующей способности для кумулятивных протонов в рамках одного из возможных каналов реакции - прямого выбивания протонов из ядер. В результате сравнения расчетных значений с существующими экспериментальными данными показано, что поляризация удовлетворительно описывается в рамках этого механизма для углов, больших 90 градусов в лабораторной системе координат, особенно для ядер дейтерия.

Автор защищает:

1. Методику измерения поляризации инклюзивно регистрируемых протонов. Для реализации ее создана установка, позволяющая на линии с малой ЭВМ надежно идентифицировать регистрируемые частицы; создана система программ, обеспечивающих прием данных, контроль их и обработку данных в процессе калибровки спектрометрических каналов и измерений.

2. Результаты измерения поляризации при различных углах регистрации протонов и для различных ядер. Проведен анализ возможного вклада в рождение кумулятивных частиц при наших условиях измерений некоторых механизмов реакций.

3. Результаты численных расчетов для одного из них - механизма прямого выбивания протонов из ядер - и сравнения результатов расчета с существовавшими к тому времени экспериментальными данными.

Апробация диссертации. Результаты работы докладывались на III Всесоюзном семинаре "Программа экспериментальных исследований на мезон-

ной фабрике ИЯИ АН СССР" в 1983 г. в Звенигороде, на Международном совещании по исследованиям в области релятивистской ядерной физики в Дубне (1982 г.), на сессиях Отделения ядерной физики АН СССР, на семинарах по физике высоких энергий и элементарных частиц ЛЯП ОИЯИ и опубликованы в семи работах ^{/1-7/} в журналах "Ядерная физика", "Приборы и техника эксперимента", в материалах Семинара и Совещания, в сообщениях ОИЯИ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, содержит 92 страницы текста, включая 20 рисунков, 2 таблицы и список цитируемой литературы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель работы, кратко изложено содержание диссертации.

В главе I приводится краткое описание характерных особенностей процессов рождения кумулятивных частиц в реакции типа (I). Начиная с некоторой энергии налетающей частицы, нормированное инвариантное сечение не зависит от типа налетающей частицы и ее энергии. Этот эффект носит название масштабной инвариантности или ядерного скейлинга.

Кроме того, в этой главе приводятся основные определения, используемые в дальнейшем изложении. В частности, в диссертации речь идет о поперечной поляризации кумулятивных протонов P_y , рождающихся в реакции неполяризованной частицы с неполяризованным ядром, то есть $a + A \rightarrow \bar{p} + X$. Анализирующая способность A_y представляет собой асимметрию вылета кумулятивных частиц в реакции $\bar{p} + A \rightarrow b + X$ при взаимодействии поляризованного протона с неполяризованным ядром:

$$A_y = \frac{\sigma(\uparrow) - \sigma(\downarrow)}{\sigma(\uparrow) + \sigma(\downarrow)} \times \frac{1}{P},$$

где стрелкой показано направление поляризации налетающего протона (вверх-вниз), P - величина ее.

Далее речь идет о современном состоянии дел с исследованием спино-вых зависимостей кумулятивных сечений.

К моменту начала измерений поляризации, описанных в диссертации, существовала всего одна работа ИТЭФ 1967 г., в которой были описаны результаты измерения поляризации в реакции $p + C \rightarrow \bar{p} + X$ при угле регистрации 137 градусов в л.с. и энергиях протонов 2 и 3,66 ГэВ. Авторы сделали вывод о наличии поляризации не менее 20% с достоверностью 95%. О знаке поляризации не говорится.

К настоящему времени поляризация P_y измерена в процессах $\pi + A \rightarrow \bar{p} + X$, $\bar{K} + A \rightarrow \bar{\Lambda} + X$, $p + A \rightarrow \bar{p} + X$, $Y + A \rightarrow \bar{p} + X$ и анализирующая способность A_y в процессе $\bar{p} + A \rightarrow p + X$. В диссертации приведен краткий обзор этих данных. Он позволяет сделать вывод о том, что данные по поляризации кумулятивных частиц весьма фрагментарны, некоторые измерения проведены только для одного угла регистрации. Возможно, что существует сильная зависимость поляризации кумулятивных протонов от вида налетающей частицы, в то время как сечение процесса типа (I) не зависит от частицы-бомбардира.

В этой главе проводится обсуждение некоторых существующих подходов к описанию сечений образования кумулятивных частиц и обсуждается предсказание ими поляризации. Большинство из них удовлетворительно описывают свойства инклюзивных спектров, однако ни одна из моделей не дает полного описания всех характерных особенностей кумулятивного рождения частиц. Несомненным является необходимость новых, более точных, экспериментальных данных по сечениям при различных энергиях и для рождения различных кумулятивных частиц. Качественно новые критерии для моделей дают корреляционные опыты. Поляризационные измерения также должны послужить выяснению природы такого интересного процесса как кумулятивный эффект, поскольку они являются источником дополнительной и независимой информации об амплитудах этого процесса.

Глава II посвящена описанию экспериментальной установки и методики измерений. В ней изложены вопросы, касающиеся калибровок, обработки данных, фоновых измерений.

Измерение поляризации инклюзивно регистрируемых протонов проводилось методом двойного рассеяния с использованием сцинтилляционных счетчиков.

При инклюзивной регистрации частиц наряду с протонами в регистрирующую аппаратуру попадает большое количество \bar{K} -мезонов, поэтому для достаточно точного измерения поляризации протонов необходима высокая надежность идентификации частиц. Этим требованием определялась необходимость измерения времени пролета частицы одновременно с измерением ее кинетической энергии.

Экспериментальная установка подробно описана в /1/. Схема ее изображена на рис.1. Пучок неполяризованных протонов с энергией 640 ± 15 МэВ направлялся на поляризующую мишень M1. Частицы, испущенные этой мишенью, регистрировались счетчиками 1 и 2, задававшими угол их вылета θ_1 , и попадали на вторую углеродную мишень M2, служившую анализатором поляризации протонов. Рассеянные этой мишенью частицы регистрировались счетчиками 3, 4 и 5.

Кинетическая энергия регистрируемых частиц (T) измерялась счетчиком полного поглощения NaJ(T1) диаметром 10 см и длиной 10 см.

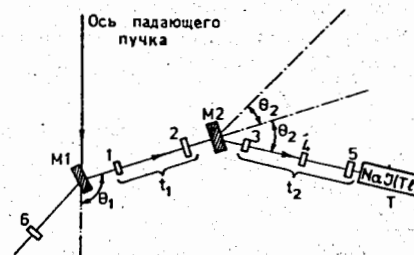


Рис.1. Схема экспериментальной установки. M1 - мишень-поляризатор, M2 - анализирующая мишень, 1-6 - счетчики, NaJ(T1) - счетчик полного поглощения, θ_1 - угол вылета частиц из мишени M1, θ_2 - угол анализирующего рассеяния, t_1, t_2 - базы для измерения времени пролета частиц.

Размеры счетчика соответствуют длине полного поглощения протонов с энергией 180 МэВ, что позволяло с учетом потерь в поглотителях на пути частиц (счетчики и мишени M1, M2) определять их энергию в диапазоне 120-235 МэВ. Результаты калибровочных измерений показали, что разрешение при измерении энергии составляло $\pm(7-9)$ МэВ.

Время пролета частицы t_1 до мишени-анализатора M2 определялось с помощью счетчиков 1 и 2, после мишени-анализатора (t_2) - с помощью счетчиков 3 и 5. Во время всех измерений разрешение при измерении времени пролета было не хуже $\pm 0,3$ нс. Расстояние между счетчиками 3 и 5 было установлено 80 см.

Кодирование аналоговых сигналов t_1, t_2, T (t_1, t_2 - время пролета до и после анализатора соответственно, T - кинетическая энергия частицы) производилось в стойке многомерного анализа ИЦ ЛЯП, а затем эта информация поступала в анализатор АИ-4096, который использовался в качестве буферной памяти. Эта информация массивами по 2048 слов передавалась автоматически в ЭВМ (в режиме прямого доступа в память). Прием ее производился в режиме динамической буферизации, что позволяло произвести обработку ранее принятых данных во время заполнения буферной памяти новыми событиями.

Типичный спектр масс показан на рис.2. Полуширина на полувьсоте спектра протонов составляла в процессе измерений 150-200 МэВ в различных диапазонах регистрируемых энергий протонов.

Перед началом каждого сеанса измерений производилась калибровка абсолютных величин измеряемых времени пролета и энергии, выделяющейся в счетчике полного поглощения. Эта процедура осуществлялась в специальном вспомогательном опыте по упругому pp-рассеянию при энергии 640 ± 15 МэВ. В этих измерениях счетчики 1-5 выстраивались в линию

($\theta_2 = 0$). Счетчики I-5 и дополнительный счетчик 6 устанавливались под углами, соответствующими кинематике pp-рассеяния. Для осуществления калибровочных измерений автором была написана программа CALF, работающая в диалоговом режиме.

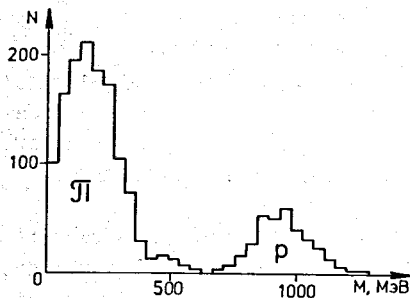


Рис.2. Типичный спектр масс.

Набор экспериментальной информации об инклюзивных спектрах частиц контролировался программой MEAS.

Измерение поляризации производилось традиционным способом, посредством наблюдения азимутальных (лево-правых) асимметрий рассеяния протонов известной энергии на ядре углерода. Согласно Медисонскому соглашению, в нашей геометрии опыта (см. рис.1) измеряемая асимметрия вычислялась как

$$e = \frac{N_L - N_R}{N_L + N_R},$$

где N_L - нормированное на показания монитора количество событий, соответствующих рассеянию на мишени M2 влево от исследуемого пучка протонов, N_R - вправо от него. Искомое значение поляризации равно

$$P_y = e/A_c,$$

где A_c - анализирующая способность во втором рассеянии.

В качестве анализатора (мишени M2) в наших измерениях использовалась углеродная мишень толщиной $7,1 \text{ г/см}^2$, угол анализа - 12 ± 1 градусов.

Анализирующая способность (A_c) мишени M2 определялась нами путем измерения лево-правой асимметрии (e) рассеяния протонов с известной поляризацией P_{pp} и энергией, полученных в упругом pp-рассеянии:

$$A_c = e/P_{pp}.$$

Соответствующие значения для угла анализа $\theta_2 = 12$ градусов, полученные нами в этих измерениях, изображены на рис.3.

Наблюдение за наличием возможных ложных асимметрий (имеющих, например, исторический характер) велось в течение всех сеансов работы установки путем измерения асимметрии рассеяния пионов, присутствующих в потоке частиц, вылетающих из мишени M1, на анализаторе. Как правило, асимметрия рассеяния π -мезонов не превышала 1-2%.

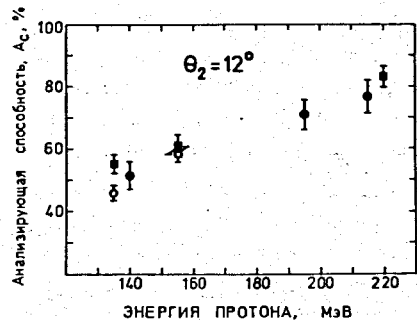


Рис.3. Энергетическая зависимость анализирующей способности углерода для угла 12 градусов: \circ - Jarvis O.N. et al. NP, 1966, v.77, p.161; \blacksquare - Файснер Г. Поляризация нуклонов при рассеянии. ИЛ, М., 1960, с.161; \bullet - наши данные $/1/$.

Кроме того, проверка на отсутствие ложных асимметрий эпизодически проводилась в двух специально поставленных опытах. В первом из них измерялась асимметрия протонов, упруго рассеянных водородом на угол 90 градусов в системе центра масс. Известно, что она должна быть равной нулю. Эти измерения также показали, что возможная ложная асимметрия не превышает величины $1 \pm 2\%$. Во втором опыте счетчики 3, 4 и 5 регистрировали частицы, испытавшие, в основном, многократное рассеяние на угол 8 ± 1 градусов в свинцовом анализаторе. Она оказалась равной $0,000 \pm 0,012$.

Результаты этих трех независимых измерений позволяют нам сделать заключение о том, что в процессе наших измерений

поляризации протонов величина возможной систематической ошибки измерения азимутальной асимметрии составляла не более $\pm(0,02 \pm 0,02)$.

Фоновыми событиями при измерениях являлись события, связанные с рассеянием исследуемых протонов на веществе сцинтиллятора счетчиков 2 и 3, и случайные совпадения сигналов со счетчиков I-5. Суммарный вклад таких событий контролировался в процессе измерений и не превышал обычно 1-5%. Для его определения измерения проводились без анализирующей мишени аналогично основным измерениям.

Кроме того, в полном числе регистрируемых протонов могла быть примесь протонов, образованных в мишени M2 вследствие поглощения в ней пионов, испущенных из мишени-поляризатора M1. Вклад такого фона непосредственно в ходе измерений асимметрии (e) не мог быть проконтролирован, поскольку он обусловлен недостаточно надежным разделением протонов от π -мезонов до анализирующей мишени. Поскольку в этом случае основным источником такого фона могла явиться реакция $\pi + \langle a \rangle \rightarrow p + X$ на квазидейтонных парах в ядре углерода, то нами был поставлен специальный контрольный эксперимент по определению возможной примеси его в полном числе событий. Измерения проводились

в опыте, где для большей надежности идентификации частиц расстояние между счетчиками 1 и 2 было увеличено почти вдвое по сравнению с условиями, при которых измерялась поляризация. Установлено, что вклад таких событий в полное число регистрируемых после анализатора протонов не превышает 1% ($0,008 \pm 0,015$) и им можно пренебречь.

В главе III описываются результаты исследования величины поляризации P_y протонов в реакции $p + A \rightarrow \bar{p} + X$ при углах 57,5; 70; 90; 110; 130 и 150 градусов с ядром углерода в качестве мишени. Диапазон энергии наблюдаемых протонов ограничивался возможностями установки и был равен 120–235 МэВ. Нижний предел определялся количеством вещества на пути частиц до счетчика NaJ, верхний – размером этого счетчика. Этот интервал энергий был разбит на группы: 120–125, 125–140, 140–165, 165–195 и 195–235 МэВ.

При углах 90 и 130 градусов была изучена А-зависимость поляризации протонов на примере ядер Ве, С, Al и Рь.

Результаты измерений приведены в таблицах 1 и 2. Этот экспериментальный материал позволил получить информацию об энергетической зависимости $P_y(T)$, угловой зависимости $P_y(\theta)$ и зависимости поляризации от атомного номера ядра-мишени А.

Зависимость поляризации протонов, выбиваемых из углеродной мишени, (P_y) от кинетической энергии Т для всех шести вышеперечисленных углов изображена на рис.4. На верхней шкале оси абсцисс отложено кумулятивное число Q, представляющее собой минимальную массу мишени (в нуклонных массах), от которой может отразиться под данным углом и с энергией Е налетающий протон:

$$Q = \frac{E_0 * E - p_0 * p * \cos\theta - M_p^2}{(E_0 - E) * M_p}$$

где E_0 и p_0 – энергия и импульс налетающего протона, Е и р – рассеянного на угол θ , M_p – масса протона. На нижней шкале оси абсцисс отложена кинетическая энергия протонов Т, по оси ординат – их поляризация P_y .

Данные, изображенные на рис.4, показывают, что поляризация протонов, испущенных в переднюю полусферу, невелика, отрицательна и сравнительно слабо зависит от энергии Т выбитых протонов. При углах 90 и 110 градусов она практически отсутствует и возрастает с ростом угла. Обращает на себя внимание тот факт, что поляризация заметно отличается от нуля у более энергичных протонов. Наибольшая поляризация не превышает 20%, в основном же она невелика (~ 10%) по сравнению с поляризацией в нуклон-нуклонном или упругом нуклон-ядерном рассеянии при энергии несколько сот МэВ, где наибольшие ее значения могут достигать 50%.

Таблица 1. Поляризация протонов P_y при углах регистрации θ в различных интервалах энергии Т регистрируемых протонов

θ , л.с., град.	Интервал Т, МэВ				
	120–125	125–140	140–165	165–195	195–235
57,5	$0,4 \pm 3,2$	$-5,2 \pm 2,0$	$-6,6 \pm 1,8$	$-10,0 \pm 1,5$	$-18,0 \pm 4,0$
70	$-2,6 \pm 3,8$	$-2,9 \pm 2,4$	$-6,4 \pm 2,0$	$-7,3 \pm 2,0$	$-19,5 \pm 4,0$
90	$3,8 \pm 2,8$	$-2,8 \pm 2,8$	$2,6 \pm 2,7$	$-0,1 \pm 2,3$	$-2,8 \pm 3,2$
110	$-1,1 \pm 3,7$	$4,5 \pm 5,0$	$3,2 \pm 4,0$	$4,8 \pm 5,9$	$-2,6 \pm 7,5$
130	$0,4 \pm 7,4$	$-4,1 \pm 5,3$	$9,6 \pm 4,5$	$14,8 \pm 5,2$	$22,6 \pm 6,9$
150	$-16,0 \pm 10,8$	$-1,0 \pm 7,6$	$4,3 \pm 7,3$	$15,5 \pm 9,8$	$12,4 \pm 9,3$
Поляризация P_y , %					

Таблица 2. Поляризация протонов, усредненная в интервале Т = 120–235 МэВ, для различных ядер-мишеней

Угол вылета протона, θ	Ядро			
	Ве	С	Al	Рь
90	-2 ± 2	1 ± 2	-1 ± 3	1 ± 3
130	14 ± 4	7 ± 2	4 ± 3	-2 ± 3
Поляризация P_y , %				

На основе данных таблицы 1 извлечена угловая зависимость P_y для трех энергетических интервалов: 120–140, 140–165 и 165–235 МэВ. Следует отметить практически отсутствие поляризации у "мягких" протонов (120–140 МэВ). Для более "жестких" протонов (165–235 МэВ) наблюдается заметная поляризация на малых и больших углах со сменой знака при 90–110 градусов. Здесь же проводится сравнение наших данных с результатами, полученными в ЛИАФ АН СССР (Препринт ЛИАФ Ю23, Л., 1984) и показана их согласованность в пределах ошибок измерений.

При углах 90 и 130 градусов нами была измерена поляризация кумулятивных протонов, вылетающих из ядер бериллия, углерода, алюминия и свинца. Поскольку в исследуемом нами интервале энергий регистрируемых протонов (120–235 МэВ) нет резкой энергетической зависимости поляризации $P_y(T)$ (см. табл.1), для получения А-зависимости P_y было произведено усреднение этой величины по всему энергетическому интервалу. Экспериментально полученные зависимости поляризации в реакции $p + A \rightarrow \bar{p} + X$ от массового числа ядра-мишени (А) представлены в таблице 2. Ошибки измерений P_y велики, но, по-видимому, можно утверждать, что поляризация монотонно падает с ростом А.

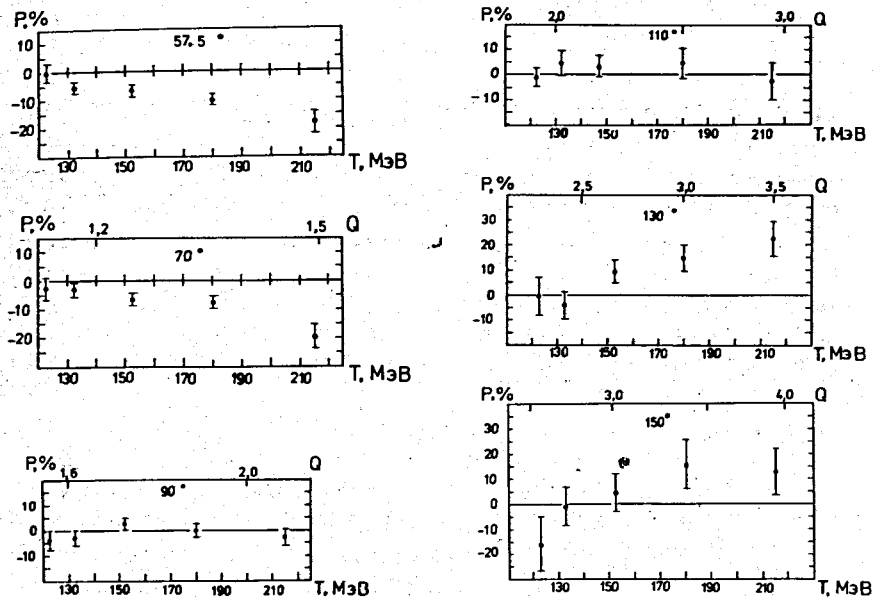


Рис. 4. Зависимость поляризации протонов, испускаемых из углеродной мишени, от их энергии T и от кумулятивного числа Q для углов $57,5$; 70 ; 90 ; 110 ; 130 и 150 градусов.

В главе IV описаны расчеты поляризации кумулятивных протонов в рамках механизма прямого выбивания из ядер. Здесь же проводится сравнение результатов расчета с существующими экспериментальными данными.

Нам представлялась важной попытка рассчитать поляризацию в процессе (I) в приближении квазисвободного выбивания движущихся протонов ядра. Если рассматривать наблюдаемый нами протон как результат рассеяния на встречном движущемся протоне ядра, то передача четырехимпульса в таком процессе мала ($(0,01-0,03)$ (ГэВ/с) 2 для основной доли событий). Основные неопределенности в такого рода вычислениях связаны со сходом с массовой поверхности при больших значениях импульсов внутриядерных протонов. В моделях внутриядерных каскадов эта проблема обходится путем рассмотрения рассеяния внутри ядра как свободного рассеяния, но с учетом изменения энергии частиц при входе в ядро и выходе из него (В.С.Барашенков, В.Д.Тонеев. Взаимодействие высокоэнергетических частиц. М.: Атомиздат, 1972, с. 270). Мы тоже воспользова-

лись таким приближением. Механизм прямого выбивания достаточно хорошо воспроизводит абсолютные значения инклюзивных сечений протонов, испущенных в реакции типа (I) в кинематически запрещенную область при промежуточных энергиях. Поэтому было бы естественным, оставаясь в рамках этого подхода, сделать следующий шаг и попытаться оценить угловые и энергетические зависимости поляризации протонов в процессе (I), информация о которых уже имеется в литературе (вплоть до 1 ГэВ).

Для дальнейшего упрощения рассматриваемой картины предположим, что:

1) поляризация протонов в квазисвободном рассеянии на протоне ядра равна поляризации $P(s, t)$, возникающей в процессе упругого $N-N$ -рассеяния при соответствующих значениях инвариантных переменных s и t , определенных следующим образом:

$$s = (p' + q)^2, \quad t = (p - p')^2,$$

где p - четырехимпульс пучкового протона, p' - рассеянного, q - регистрируемого;

2) можно пренебречь перерассеянием нуклонов и взаимодействием в конечном состоянии.

При этих предположениях интересующая нас инклюзивная поляризация протонов $P_Y(q)$ может быть оценена как средневзвешенное значение поляризации протонов, испускаемых с импульсом q во всех кинематически разрешенных элементарных актах pp - и pn -соударений с движущимися нуклонами ядра. В качестве веса мы использовали подынтегральную функцию в выражении:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega_q dE_q} = q \cdot E_q \frac{d\sigma}{d^3q} = \frac{M^4 q}{2(2\pi)^5 p} \int \frac{d^3k}{E_k E_{p'}} \left[n_p(k) \sum |M_{pp}|^2 + n_n(k) \sum |M_{pn}|^2 \right] \delta(E_p + E_k - E_{p'} - E_q - \bar{E})$$

для сечения инклюзивного образования протонов на ядрах, полученного Амадо и Волошиним в рамках механизма прямого выбивания (PRL, v.36, No.24, 1976, p.1435). Здесь Ω_q - телесный угол вылета протонов с импульсом q ; M - масса протона; M_{pp} и M_{pn} - матрицы перехода для упругого pp - и pn -соударений; $n_{p,n}(k)$ - вероятности обнаружения в ядре нуклона с импульсом k ; $E_k^2 = k^2 + m^2$; \bar{E} - средняя энергия взаимодействия нуклонов в ядре; $d^3k = k^2 dk d\varphi k \sin\theta_k$.

Согласно D.Boal (FR, 1980, G21, No.5, p.1913), часть, связанная с pn -рассеянием, дает вклад в (2), составляющий не более нескольких процентов. На этом основании в расчетах мы ее не учитывали.

Выражая M_{pp} через дифференциальное сечение и проинтегрировав выражение (2) по $\cos\theta$, получим:

$$P_y(\bar{q}) = \frac{\int_{K_{\min}}^{K_{\max}} \frac{n_p(k)}{E_k} \cdot k \cdot dk \int_0^{2\pi} S(s/4 - M^2) \frac{d\delta}{dt}(s, t) \cdot P^*(s, t) \cdot d\varphi_k}{\int_{K_{\min}}^{K_{\max}} \frac{n_p(k)}{E_k} \cdot k \cdot dk \int_0^{2\pi} S(s/4 - M^2) \frac{d\delta}{dt}(s, t) \cdot d\varphi_k} \quad (3)$$

Здесь φ_k - азимутальный угол; $P^*(s, t) = P_{pp}(s, t) \times \cos(\hat{1}, \hat{n})$. Учет $\cos(\hat{1}, \hat{n})$ связан с тем обстоятельством, что наблюдаемая на опыте поляризация зависит как от аргументов s и t , так и от взаимной ориентации нормалей $\hat{1} = [\vec{p}\vec{r}']/|[\vec{p}\vec{r}']|$ к плоскости поляризующего рассеяния и $\hat{n} = [\vec{r}\vec{q}]/|[\vec{r}\vec{q}]|$, определяющей направление поперечной компоненты поляризации, измеряемой на опыте. Направление обеих нормалей выбрано так, чтобы при переходе к компланарной геометрии знак поляризации совпадал со знаком для упругого pp-рассеяния.

Пределы интегрирования K_{\min} и K_{\max} определялись кинематикой реакции $A(p, 2p)$ ($A=I$) и условием $K_{\max} < 1,2$ ГэВ/с. Неопределенность расчетов, связанная с ошибками исходных экспериментальных данных, - не более нескольких процентов. Расчет P_y выполнялся для ядер дейтерия и углерода.

Результаты расчетов показали, что для углов, больших 90 градусов, результаты расчета качественно совпадают с экспериментальными данными, причем согласие улучшается с увеличением ухода от кинематического предела NN-рассеяния. На углах 90 градусов и меньших наблюдается сильное расхождение результатов расчета с экспериментальными данными, хотя знак поляризации совпадает. Возможной причиной этого расхождения может быть большой вклад в инклюзивное сечение других механизмов реакции. Учитывая то, что при суммировании вклада в инклюзивное сечение различных механизмов реакций необходимо усреднять и значения поляризации, становится ясным, что реальные величины поляризации при $\theta < 90$ градусов должны быть значительно меньше, чем рассчитанные в полусном приближении значения.

Удивительным является хорошее согласие расчетных значений A_y с экспериментальными данными для ядра дейтерия. Это относится даже к углам вылета протонов в переднюю полусферу. Следует подчеркнуть, что свободных параметров в расчетах нет и зависимость от атомного номера мишени определяется только импульсным распределением и граничными значениями K_{\min} , K_{\max} (пределы интегрирования в (3)), определяемыми кинематикой реакции $A(p, 2p)$ ($A=I$). Хорошее описание для простейшего ядра, когда в качестве ядра отдачи выступает один нуклон, возможно,

свидетельствует о том, что рассмотренный механизм реакции играет немаловажную роль в образовании кумулятивных частиц при промежуточных энергиях.

В связи с обсуждением поляризационных экспериментов на синхротроне ЛВЭ ОИЯИ нами была произведена оценка ожидаемых значений поляризации кумулятивных протонов в рамках рассмотренного здесь механизма. Показано, что ожидаемая величина поляризации не превышает 10% даже для ядра дейтерия.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации:

1. Разработана методика измерения поляризации инклюзивно регистрируемых протонов при наличии большого количества π -мезонов в исследуемом пучке. Особенностью подобных измерений является необходимость надежной идентификации протонов для исключения систематической ошибки, связанной с примесью π -мезонов.

2. На основе разработанной методики были созданы экспериментальная установка и комплекс программ, с помощью которых проведено экспериментальное исследование поляризации в реакции $p + A \rightarrow \bar{p} + X$ при энергии 640 МэВ, в результате чего получены:

- энергетические зависимости поляризации;
- зависимость поляризации от угла регистрации протонов;
- зависимость поляризации от атомного номера ядра-мишени.

3. В результате наших исследований экспериментально установлено, что:

- поляризация кумулятивных протонов, во всяком случае при промежуточных энергиях, невелика, не превышает 15-20% и существенно зависит от угла регистрации протонов;
- слабо зависит от энергии кумулятивных протонов;
- с ростом атомного номера ядра-мишени поляризация уменьшается.

4. Создана программа и впервые проведены численные расчеты поляризации и анализирующей способности для кумулятивных протонов в рамках одного из возможных каналов реакции - прямого выбивания протонов из ядер. В результате сравнения расчетных значений с имеющимися экспериментальными данными в области энергий 316-1000 МэВ показано, что поляризация может быть удовлетворительно описана в рамках этого механизма для углов, больших 90 градусов в лабораторной системе координат, особенно для ядер дейтерия.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

- Власов Н.В., Зулькарнеев Р.Я., Кузьмин Н.А., Кутуев Р.Х., Муртазаев Х. Методика измерения лево-правых асимметрий и восстановления поляризации быстрых протонов, испущенных в реакциях типа $p + A \rightarrow p + \dots$ при энергии 640 МэВ. - ПТЭ, 1981, № 5, с.34-38.

2. Зулькарнеев Р.Я., Кутуев Р.Х. Спиновые эффекты в процессах испускания кумулятивных частиц. - Дубна, 1983. - 13 с. (Сообщение/Объед. ин-т ядерн.исслед.: I-83-860).
3. Зулькарнеев Р.Я., Кутуев Р.Х., Муртазаев Х. Угловая и импульсная зависимости поляризации протонов, испущенных в рС-соударениях при энергии 640 МэВ. - ЯФ, 1980, т.32, вып.4, с.889-892.
4. Зулькарнеев Р.Я., Кутуев Р.Х., Муртазаев Х. А-зависимость поляризации протонов, испущенных назад из ядер при их бомбардировке протонами с энергией 640 МэВ. - Дубна, 1979. - 4 с. (Сообщение/Объед. ин-т ядерн.исслед.: PI-I2906).
5. Зулькарнеев Р.Я., Кутуев Р.Х. Исследование энергетической и А-зависимостей поляризации протонов, выбиваемых из ядер протонами при энергии 640 МэВ. - Дубна, 1983. - 4 с. (Препринт/Объед. ин-т ядерн.исслед.: PI-83-295); Труды международного совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики, ОИЯИ, Д2-82-568, Дубна, 1982; с.143-148.
6. Зулькарнеев Р.Я., Кутуев Р.Х. Поляризация протонов, вылетающих в заднюю полусферу в реакции $p + A \rightarrow p + \dots$ при промежуточных энергиях. - Дубна, 1983. - 8 с. (Препринт/Объед. ин-т ядерн.исслед.: PI-83-402).
7. Зулькарнеев Р.Я., Кутуев Р.Х. Поляризационные эффекты в реакциях типа $p + A \rightarrow p + \dots$ при энергиях 316-1000 МэВ. - ЯФ, 1984, т.39, вып.4, с.785-793; Труды III Всесоюзного семинара "Программа исследований на мезонной фабрике ИЯИ АН СССР", ИЯИ АН СССР, Москва, 1984, с.286-290.

Рукопись поступила в издательский отдел
14 декабря 1988 года.