

**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

Б 201

P1-88-408

**В.П.Баландин, И.М.Беляев*, В.В.Вицев, Н.В.Власов,
О.П.Гаврищук, Л.С.Золин, Е.В.Казаренко,
Н.А.Кузьмин, В.Ф.Переседов, Ю.П.Петухов,
С.В.Фролов***

ПОЛЯРИМЕТР С ТРЕКОВЫМ ДЕТЕКТОРОМ

* Институт теоретической и экспериментальной
физики, Москва

1. ВВЕДЕНИЕ

Всестороннее исследование кумулятивных процессов стимулировало проведение ряда экспериментов по измерению поляризации кумулятивных протонов^{/1/}. Измерения выполнялись традиционным методом двойного рассеяния, когда результат действия мишени-поляризатора проверяется по асимметрии вторичного рассеяния на мишени-анализаторе. Если в первых пободных экспериментах для измерения асимметрии применялись сцинтилляционные телескопы, то в последнее время применяются, как правило, поляриметры, использующие трековые детекторы — пропорциональные или дрейфовые камеры^{/2/}. Техника прецизионных измерений анализирующей способности и поляризации при помощи трековых детекторов развита в лабораториях, традиционно занимающихся спиновыми эффектами в области промежуточных энергий (LAMPF, TRIUMF, SIN). С поляриметров такого типа произведено тщательное измерение анализирующей способности инклюзивной реакции $p + C \rightarrow p' + \dots$ в широком диапазоне кинетических энергий протонов от 80 до 750 МэВ^{/3,4/}, что дает возможность использовать углеродный рассеиватель как анализатор, анализирующая способность которого известна в этом интервале энергий с точностью до нескольких процентов.

В данной работе описан поляриметр, примененный при исследовании поляризации протонов в реакциях $p + A \rightarrow p_c + X$ при энергии первичного пучка от 15 до 65 ГэВ. Эксперименты выполнены на протонном синхротроне У-70 ИФВЭ (Серпухов).

2. ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПОЛЯРИМЕТРА

Конструкция поляриметра показана на рис. 1. Геометрия опыта по двойному рассеянию применительно к данному случаю видна на рис. 2. Поляриметр, собранный на базе спектрометра кумулятивных адронов (СКА) из предшествующей части экспериментальной программы, подробно описан в^{/5/}. По функциональному принципу в экспериментальной установке можно выделить "пучковую" и спектрометрическую части, а также анализатор вторичного рассеяния.

2.1. Поляриметр работал непосредственно на внутренней мишени ускорителя У-70, поэтому канал первичных частиц в обычном смысле отсутствовал, его заменял участок камеры ускорителя. К "пучковой"

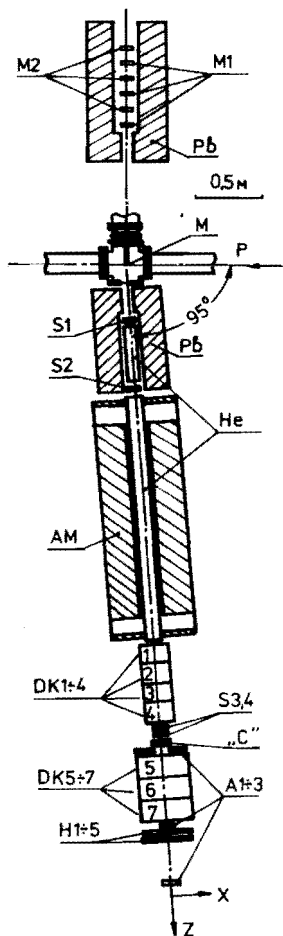


Рис. 1. Конструкция поляриметра.

части установки относятся также мишенный узел и мониторные телескопы M1 и M2, контролирующие уровень сброса. Поскольку измерение поляризации проводилось в широком интервале энергий первичных протонов, то сброс протонов на мишень выполнялся на подъеме магнитного поля ускорителя при нарастании энергии протонов от 15 до 65 ГэВ. Значение магнитного поля и, следовательно, энергия протонов контролировались по "B"-серии, один отсчет которой соответствует приращению индукции поля на 1 гаусс. Мишень была выполнена в виде подвески размером 4×4 мм² и плотностью $0,2 \div 0,5$ г/см². Ввод мишени в пучок ускорителя осуществлялся с помощью стандартного для У-70 привода с управлением от местного пульта управления, что обеспечивало возможность быстрой оптимизации условий сброса. Вывод вторичного пучка из камеры ускорителя производился через окно из титановой фольги (50 мкм).

Мониторные телескопы M1 и M2 (по три сцинтилляционных счетчика в каждом) установлены под углом 90° к направлению первичных протонов. Кроме функции мониторинга они выполняли также роль датчиков в схеме обратной связи, стабилизирующей сброс

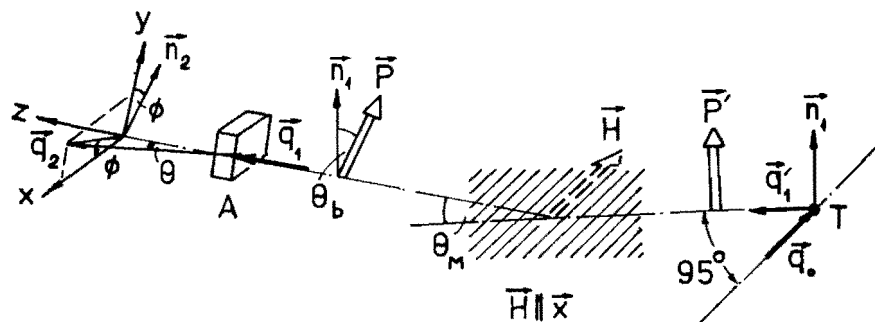


Рис. 2. Схема опыта по двойному рассеянию.

на мишень на заданном уровне: скорость счета мониторов трансформировалась в сигнал, регулирующий радиус равновесной орбиты протонов, обеспечивая необходимый по величине и равномерности сброс пучка на мишень в течение ~ 2 с.

2.2. Спектрометрическая часть установки состоит из анализирующего магнита AM, дрейфовых камер ДК1 \div 4 размером 126×126 мм² и сцинтилляционных счетчиков S1 \div 4 с размерами сцинтилляторов $26 \times 30 \times 0,8$; $30 \times 60 \times 2$; $40 \times 80 \times 3,5$ и $28 \times 74 \times 1,5$ мм³ соответственно. Счетчики S1 \div 4 включены в схему триггера поляриметра, размеры их определяют угловой и импульсный захват установки. Для снижения влияния многократного рассеяния на точность определения импульса в наиболее протяженные участки, свободные от детекторов, были вставлены боксы с гелием. Импульс частиц восстанавливался по углу отклонения их траектории (θ_M , рис. 2) в анализирующем магните. После магнита направление трека восстанавливалось по камерам ДК1 \div 4, для определения направления трека до магнита использовались условие "точечности" мишени и условие "шивки" направлений двух частей трека в центральной плоскости магнита. Проверка этих условий на спектрометре СКА показала, что они обеспечивают определение величины импульса для протонов с точностью не хуже 5% в интервале $500 \div 1200$ МэВ/с. В мягкой части спектра перепроверка значения импульса могла осуществляться по времени пролета. Техника времени пролета использовалась также для идентификации (p , π , d) анализируемых частиц (рис. 3).

Плоскость магнитного анализа была вертикальной, что позволило свести к минимуму корреляцию между воздействием магнитного поля на анализируемый пучок и анализом лево-правой асимметрии рассеяния. Вектор поляризации \vec{P} вращался в магнитном поле в вертикальной плоскости, угол θ_s вращения вектора поляризации относительно нормали плоскости первичного рассеяния (рис. 2) рассчитывался с учетом импульса протона и учитывался при вычислении исходного значения \vec{P} .

Импульсный захват установки при заданном значении поля был недостаточен для одновременного набора статистики в излучаемом импульсном диапазоне, поэтому экспозиции проводились при трех значениях магнитного поля 0,153, 0,216 и 0,243 Тл (рис. 4).

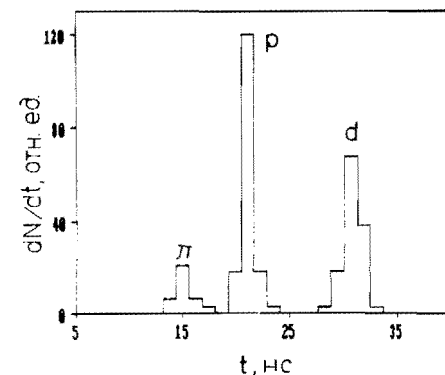


Рис. 3. Разделение пионов, протонов и дейтронов по времени пролета.

преобразователей-экспандеров "время — время" (ВВП) типа ВВП-314 и через блок ВЦП-365 считываются в ЭВМ^{/8/}. С камер ДК5 ÷ 7 сигналы через УДК и ПОС поступают на вход преобразователей ВЦП типа 6-ВЦП-362^{/9/}. Мониторная информация с мониторных телескопов М1, М2 кодируется двоичными счетчиками (СЧ), работающими в режиме накопления со сбросом в начале каждого цикла ускорения.

Работа электроники синхронизована на двух уровнях — в цикле кодирования и регистрации одного события и в цикле ускорения. Сигнал триггера, инициируя запуск кодирующих блоков (ВЦП, ЗЦП, ГСВ, СЧ), одновременно взводит триггер блокировки ТБ, блокирующий схему S1234 и схемы совпадений мониторов на время кодирования информации и чтения ее в ЭВМ, блокировка снимается импульсом "конец чтения" от ЭВМ. Синхронизация с циклом ускорения осуществляется от В-таймера (ВТ)-счетчика сигналов В-серии, вырабатывающего сигнал запуска генератора "ворот" (ТВ) при достижении заданного значения В. Импульс "ворот" длительностью ~ 2 с стробирует схемы совпадений S12, S34, М1 и М2.

Сигнал одного из мониторных телескопов (М2) используется в схеме управления наведением пучка на мишень. Эта схема собрана на основе интегратора (И) сигналов М2, генератора опорного напряжения (П), управляемого импульсом ворот, и компаратора (К).

Для калибровки временных треков используется специальный генератор (ТДС), имитирующий импульс запуска и вырабатывающий пары импульсов "старт"- "стоп" с изменяющейся задержкой, кратной стабилизированному временному интервалу. Подробно работа схемы обратной связи и схем контроля детекторных каналов описана в^{/5/}.

Сбор данных с аппаратуры КАМАК осуществлялся с помощью ЭВМ "Электроника-100-25", на которой была адаптирована система приема и обработки данных MES^{/10/}. Передача данных производилась через контроллер типа А-1 в крейт обмена данными между электроникой поляриметра и ЭВМ (рис. 5). Контроллер А-1 связан по магистрали BRANCH HIGHWAY (кабель длиной 60 м, скрученные пары) с блоком ВС-001, который реализует стандартный протокол обмена. Блок ВС-001 присоединен к магистрали ЭВМ "Общая шина" через интерфейсный контроллер В106. Данные передавались отдельными 16-разрядными словами под управлением программы приема. Цикл обмена складывался из следующих операций: загрузка от ЭВМ в блок ВС-001 информации CNAF для команды чтения, передача CNAF-кода в контроллер А-1, выполнение команды чтения и, наконец, считывание принятого слова данных из блоков ВС-001 в память ЭВМ. Средняя длина события 120 слов, скорость приема составляет примерно 24 Кбайт/с. Сигнал прерывания (триггер) заводился на блок параллельного интерфейса GIGO, синхронизирующего перенос данных в ЭВМ^{/11/}. Применялись два типа прерывания — один для приема событий и другой для сброса аппаратуры КАМАК при завершении передачи данных в цикле ускорения. Управляющая консоль ЭВМ и графический дисплей располагались в домике экс-

периментатора. Во время проведения эксперимента в целях контроля и мониторинга широко использовались возможности системы MES для предварительной обработки, гистограммирования и представления данных.

4. ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

В опыте по двойному рассеянию дифференциальное сечение второго рассеяния определяется выражением

$$\sigma(\theta, \phi) = \sigma_0(\theta) \cdot (1 + P_1 \cdot P_2 \cdot \cos \phi).$$

где σ_0 — сечение рассеяния неполяризованного пучка, P_1 и P_2 — поляризация после первого и второго рассеяния, ϕ — угол между плоскостью первого и второго рассеяния. Если целью опыта является определение поляризации в первом рассеянии $P = P_1$, то практически задача сводится к определению асимметрии во втором рассеянии A_D с известной анализирующей способностью второй мишени A_C :

$$P = A_D / A_C.$$

A_D и A_C определяются как величины, взвешенные по совокупности событий в заданном интервале углов рассеяния θ и ϕ .

В поляриметре второй мишенью служил углерод, анализирующая способность которого изучена, как отмечено, очень подробно в широком интервале углов и энергий протонов. Данные измерений отдельных групп^{/3, 4/} и используемая ими аппроксимация зависимости $A_C(\theta_{\text{лаб}}, T_p)$ хорошо соответствуют друг другу, и коридор ошибок аппроксимации при $T_p > 140$ МэВ (энергия протонов в центре рассеивателя) оценивается в $\pm 2\%$ ^{/4/}. На рис. 6 показан выполненный нами расчет A_C на основании рекомендаций^{/4/}.

Рабочий интервал полярных углов θ ограничивается в поляриметре снизу областью многократного кулоновского рассеяния. Распределение зарегистрированных событий по полярному углу показано на рис. 7. Антисовпадательные счетчики существенно подавляют события с углами рассеяния $< 3^\circ$, при $\theta >$

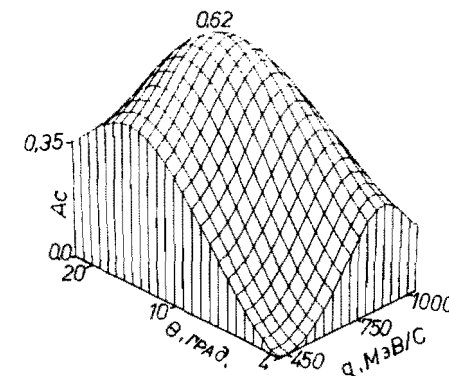


Рис. 6. Анализирующая способность углерода в зависимости от угла рассеяния θ и импульса протона q .

$> 5 \div 6^\circ$ доминирует ядерное рассеяние. В области "полутени" А-счетчиков ($\theta = 3 \div 5^\circ$) частично подавляются как случаи многократного, так и ядерного рассеяния. При использованных нами толщинах анализатора (35 и 50 мм) целесообразно принять $\theta_{\min} = 6^\circ$. θ_{\max} определяется размерами рабочей площади дрейфовых камер ДК5÷7, в зависимости от азимутального угла ϕ θ_{\max} колеблется от 11 до 14° . Чтобы устранить влияние граничных условий на результат измерения асимметрии, в анализ включались только те события, зеркальное отражение которых в плоскости ZY оставалось в пределах рабочей апертуры камер. События, плоскость рассеяния которых составляла значительный угол с плоскостью первого рассеяния и которые имели, следовательно, малый вес при определении асимметрии рассеяния, также исключались из анализа путем ограничения азимутальных углов ϕ секторами $\pm 45^\circ$ около направления 0 и 180° . Таким образом, асимметрия рассеяния определялась как результат усреднения $\cos \phi$ по совокупности событий в отмеченных интервалах полярных и азимутальных углов

$$A_D = (a/N) \cdot \sum_{i=1}^N \cos \phi_i$$

($a = 1,22$ для принятых пределов отбора по углу θ).

Анализирующая способность подобным образом определялась взвешиванием в интервале $\theta_{\min} \leq \theta \leq \theta_{\max}$:

$$A_c = (1/N) \cdot \sum_{i=1}^N A_c(\theta_i, T_{D1})$$

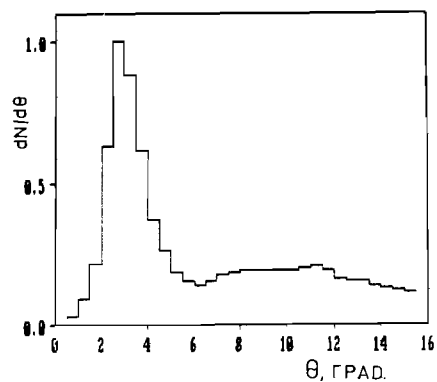


Рис. 7. Распределение событий по полярному углу θ .

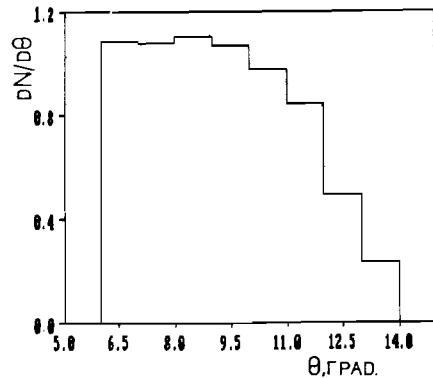


Рис. 8. Распределение отобранных событий по углу θ .

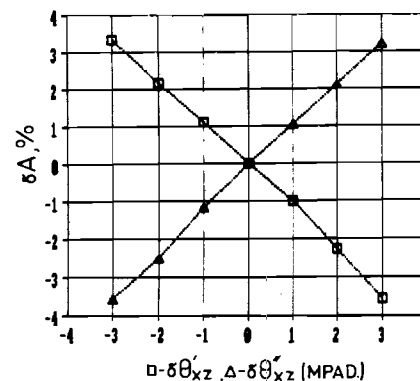


Рис. 9. Зависимость асимметрии от углового положения осей переднего (θ'_{XZ}) и заднего (θ''_{XZ}) блоков камер.

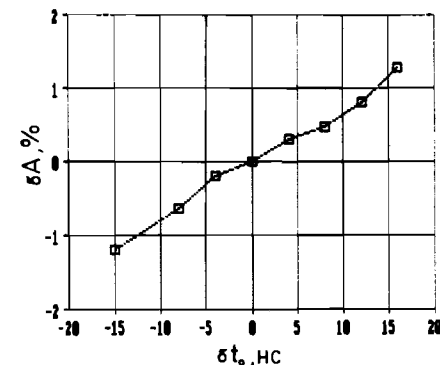


Рис. 10. Зависимость асимметрии от задержки старта время-цифровых преобразователей.

Пример распределения событий по углу θ после отбора по указанным критериям показан на рис. 8.

Ложная асимметрия может быть вызвана как неточностью геометрической юстировки детекторов, так и непостоянством эффективности по площади детекторов. Чтобы оценить требования к геометрическим параметрам, мы изучили зависимости асимметрии рассеяния от согласования угловых и линейных координат камер. Часть из них показана на рис. 9.

Особенностью применения дрейфовых камер как координатных детекторов является получение координатных отсчетов на основе параметров временной калибровки каналов временных кодировщиков. Соответствующие ошибки трансформируются в неточности определения углов θ и ϕ , т.е. также дают вклад в величину ложной асимметрии. На рис. 10 показана зависимость асимметрии от величины временной задержки старта кодировщиков.

Корректировка геометрических констант и констант временной калибровки проводилась на основании обработки файлов с регистрацией прямых треков (с устраненным рассеивателем) при минимизации величины рассогласования треков в центральной плоскости рассеивателя и величины среднего взвешенного значения θ . Точность подобной программной юстировки для относительного положения переднего и заднего блоков камер составляла по XZ проекции полярного угла $\Delta \theta_{XZ} = 0,2$ мрад, по линейному сдвигу осей $\Delta X = 0,1$ мм, точность подбора временных задержек $\Delta t_0 = \pm 2$ нс. Суммарная систематическая ошибка в асимметрии рассеяния, полученная на основе суммирования оценок ошибок геометрических и временных параметров, составила $\delta A_D = 0,007$.

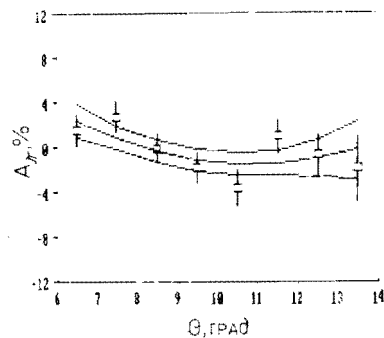


Рис. 11. Асимметрия рассеяния пионов.

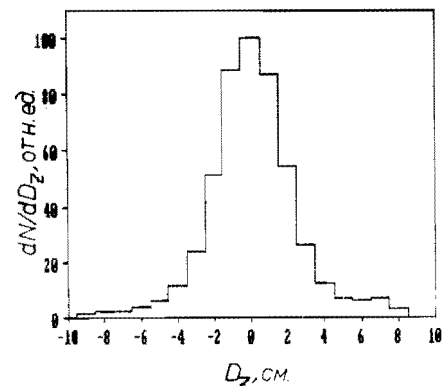


Рис. 12. Z-изображение рассеивателя.

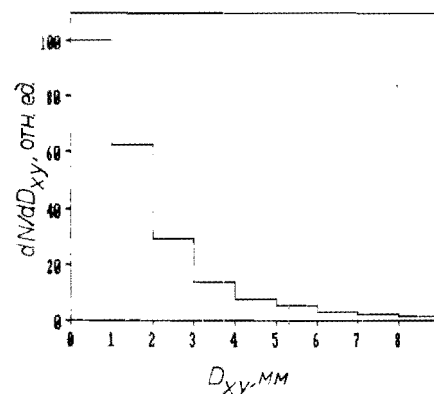


Рис. 13. Распределение расстояний между треками, восстановленными до и после рассеивателя.

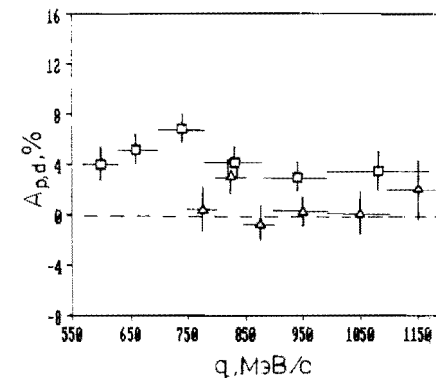


Рис. 14. Асимметрия рассеивания протонов и дейтронов, вылетающих под углом 95° л.с. в реакции $p + {}^{12}\text{C} \rightarrow p_c + \dots$.

Ложная асимметрия, обусловленная возможным непостоянством эффективности по площади координатных детекторов, могла быть проконтролирована путем измерения асимметрии рассеяния бесспиновых частиц — пионов. Измерения с π^+ -мезонами периодически повторялись при рабочих экспозициях. Асимметрия рассеяния на пионах A_π представлялась в функции полярного угла и вводилась как поправка при определении протонной асимметрии с учетом ее статистической значимости. Пример поведения $A_\pi(\theta)$ в одной из серий измерений показан на рис. 11. Среднее значение A_π в рабочем интервале полярных углов составило $A_\pi = -0,009 \pm 0,010$.

В предшествующих экспериментах по определению поляризации кумулятивных протонов верхняя граница импульсов протонов обычно не превышала 800 МэВ/с, что обусловлено трудностью набора статистики при жестких импульсах, где сечение выхода кумулятивных протонов сильно падает. В нашей постановке, при работе на внутренней мишени ускорителя, повышение светимости мишени до нужной величины не представляло трудности. Поэтому рабочий интервал импульсов протонов мог быть расширен до 1200 МэВ/с. Снизу импульсный интервал ограничивался стандартным значением $q_p \sim 550$ МэВ/с, ниже этой величины анализирующая способность углерода быстро падает (рис. 6), и ошибка измерения резко возрастает.

При определении асимметрии рассеяния протонов помимо описанного выше отбора событий по углам θ и ϕ и граничным условиям использовался также отбор по "сшивке" треков в точке рассеяния, а именно, браковались события вне пика Z-изображения рассеивателя (рис. 12) и при плохой сшивке треков в области рассеивателя, когда расстояние D_{xy} (рис. 13) между направлениями входящего и выходящего треков превышало 2 мм. Эффективность поляриметра после применения всех указанных критериев отбора составляла 2% по отношению ко всем зарегистрированным событиям.

При углах -90° выход кумулятивных дейтронов сравним с выходом протонов, поэтому измерение асимметрии рассеяния кумулятивных дейтронов (при выделении их по времени пролета) может быть вполне с неплохой статистической обеспеченностью. В кумулятивных процессах, по-видимому, нет оснований ожидать заметной величины векторной поляризации дейтронов. Поэтому можно полагать, что измерение асимметрии рассеяния кумулятивных дейтронов может служить косвенным тестом отсутствия существенной систематической ошибки в измерении асимметрии. На рис. 14 показаны измеренные асимметрии рассеяния протонов и дейтронов, вылетающих под углом 95° в реакции $p + {}^{12}\text{C} \rightarrow p_c (d_c) + \dots$.

В заключение авторы выражают благодарность сотрудникам отделов НЭОВК ЛВЭ и СНЭО ОИЯИ за поддержку при проведении сеансов на ускорителе У-70, а также Э.И.Мальцеву, М.Д.Шафранову, Т.С.Григолашвили и А.И.Григорьеву за помощь в организации работ по монтажу и наладке поляриметра.

Авторы признательны А.Д.Ермолаеву, А.С.Невскому, А.П.Курову, О.П.Лебедеву за помощь в обеспечении оптимальных условий работы на внутренней мишени ускорителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бургов Н.А. и др. — ЖЭТФ, 1980, т.31, с.700.
Зулькарнеев Р.А., Кутуев Р.Х. — ЯФ, 1980, т.32, с.889.
Воробьев Л.С. и др. — ЯФ, 1985, т.41, с.1541.
Белостоцкий С.Л. и др. — ЯФ, 1985, т.42, с.1427.

2. Waters G. et al. – NIM, 1978, 153, p.401.
Белостоцкий С.Л. и др. Препринт ЛИЯФ №878, Л., 1983.
3. Rensome R.D. et al. – NIM, 1982, 201, p.315.
4. McNaughton M.W. et al. – NIM, 1985, A341, p.435.
5. Беляев И.М. и др. Сообщение ОИЯИ P13-88-341, Дубна, 1988.
6. Водопьянов А.С. и др. – ПТЭ, 1976, 5, с.43.
7. Басиладзе С.Г. Быстродействующая ядерная электроника. М.: Энергоиздат 1982.
8. Басиладзе С.Г., Лохоняи Л. – ПТЭ, 1981, 5, с.62.
9. Басиладзе С.Г., Тлачала В. – ПТЭ, 1975, 5, с.78.
10. Горбунов Н.В. и др. Сообщение ОИЯИ P10-85-954, Дубна, 1985.
11. Горбунов Н.В. и др. Сообщение ОИЯИ 11-82-711, Дубна, 1982.

Рукопись поступила в издательский отдел
8 июня 1988 года.

Баландин В.П. и др.

P1-88-408

Поляриметр с трековым детектором

Описан поляриметр, с помощью которого выполнены измерения поляризации кумулятивных протонов в инклюзивной реакции $p+A \rightarrow p_c + X$. Измерения проводились на внутренней мишени протонного ускорителя У-70 (Серпухов). В качестве трековых детекторов в поляриметре использовались дрейфовые камеры.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1988

Перевод авторов

Balandin V.P. et al.

P1-88-408

Polarimeter with a Track Detector

The polarimeter, on which basis the cumulative proton polarization in the inclusive reaction $p + A \rightarrow p_c + X$ was measured, is described. Measurements were made on the inner target of the U-70 proton accelerator (Serpukhov). Drift chambers were used as track detectors.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1988