

**ПОЛЯРИЗАЦИЯ КУМУЛЯТИВНЫХ ПРОТОНОВ  
В РЕАКЦИИ  $p + {}^{12}\text{C} \rightarrow p_c(158^\circ) + x$   
ПРИ ЭНЕРГИИ ПЕРВИЧНЫХ ПРОТОНОВ ОТ 17 до 62 ГэВ**

И.М.Беляев\*, Н.В.Власов, О.П.Гаврищук, Л.С.Золин,  
В.Ф.Переседов, А.Б.Шалыгин

Измерена поляризация кумулятивных протонов, вылетающих под углом  $158^\circ$  л.с. при взаимодействии первичных протонов с энергией от 17 до 62 ГэВ с ядрами углерода. Измерения выполнены в интервале импульсов кумулятивных протонов от 510 до 840 МэВ/с. Усредненная по импульсу величина поляризации не превышает 10%, зависимость от энергии первичных протонов выражена слабо.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

**Cumulative Proton Polarization in  $p + {}^{12}\text{C} \rightarrow p_c(158^\circ) + x$   
Reaction for Incident Protons in 17 to 62 GeV Energy Region**

I.M.Belyaev et al.

Cumulative proton polarization is measured under  $159^\circ$  l.s. angle for interactions of incident protons with carbon nuclei in the energy region from 17 to 62 GeV. Measurements are made for cumulative proton pulses from 510 to 840 MeV/c. Averaged over pulse polarization is not more than 10%, dependence on incident proton energy is weak.

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

В настоящее время проводится систематическое исследование процессов взаимодействия элементарных частиц с ядрами, которые не могут быть сведены к взаимодействию с квазисвободными нуклонами ядра и несут информацию о ядерной материи как коллективной многонуклонной системе с кварковыми степенями свободы. Одно из экспериментальных направлений связано с изучением кумулятивных эффектов в инклюзивных реакциях

$$a + A \rightarrow b + x. \quad (1)$$

---

\* *Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва*

Несмотря на то, что многие закономерности инклюзивных процессов с рождением кумулятивных адронов изучены подробно, их теоретическая интерпретация остается неопределенной. Одна из трудностей обусловлена тем, что инклюзивный канал является интегральным каналом, в котором могут суммироваться вклады различных механизмов образования кумулятивных частиц. Для успешного решения задачи необходимо комплексное изучение энергетических, корреляционных и спиновых зависимостей.

Изучение спиновых эффектов дает полезную информацию при оценке конкурентоспособности различных теоретических подходов. Однако постановка экспериментов по изучению поляризационных эффектов и их интерпретация относятся к разряду наиболее сложных.

Первое сообщение о наблюдении поляризации кумулятивных протонов появилось в 1967 г.<sup>1/</sup>. В дальнейшем измерение поляризации кумулятивных барионов выполнялось многими экспериментальными группами при различных энергиях и различном составе первичных пучков<sup>2,3,4,5,6/</sup>. Сводка данных по результатам измерения поляризации кумулятивных протонов показана на рис.1. Обращает внимание большой разброс измеренных значений величины поляризации, который затрудняет получение однозначного заключения о величине эффекта и его поведении. Однако, поскольку почти все эксперименты выполнены при неповторяющихся условиях, нельзя сделать и категорического заявления о противоречивости данных, учитывая сложную зависимость поляризационных эффектов от динамических переменных. Отметим, что при энергиях выше 7,5 ГэВ измерений поляризации кумулятивных протонов не проводилось и что в последнее время получены новые доказательства о значительности спиновых эффектов при высоких энергиях<sup>7/</sup>.

Попытки получения количественных оценок величины поляризации в кумулятивных процессах немногочисленны. В области

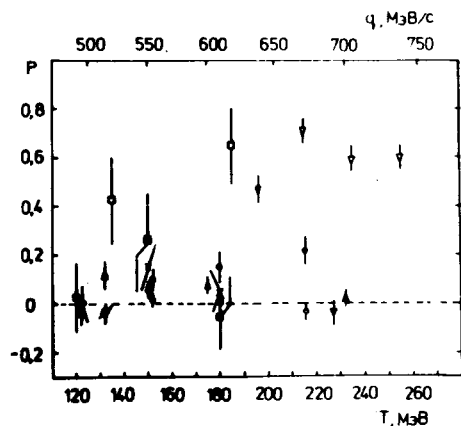


Рис.1. Поляризация кумулятивных протонов в инклюзивных реакциях на ядре углерода:

- —  $p(640 \text{ МэВ}) + C \rightarrow p_C(130^\circ) + x^{2/2}$ ;
- ▲ —  $p(1 \text{ ГэВ}) + C \rightarrow p_C(145^\circ) + x^{4/4}$ ;
- —  $\pi^- (3 \text{ ГэВ/с}) + C \rightarrow p_C(162^\circ) + x^{3/3}$ ;
- —  $\pi^- (3 \text{ ГэВ/с}) + C \rightarrow p_C(145^\circ) + x^{5/5}$ ;
- × —  $p(7,5 \text{ ГэВ/с}) + C \rightarrow p_C(145^\circ) + x^{5/5}$ ;
- ▽ —  $\gamma(4,5 \text{ ГэВ/с}) + C \rightarrow p_C(95^\circ) + x^{6/6}$ .

промежуточных энергий (1 ГэВ) были сделаны оценки величины поляризации кумулятивных протонов на основе модели прямого выбивания нуклонов <sup>/8/</sup>, расчеты не дали количественного согласия с результатами измерений <sup>/4,9/</sup>. В области высоких энергий отметим модель, предложенную в работе <sup>/10/</sup>, которая предполагает единый механизм возникновения поляризации в жестких процессах с большим поперечным импульсом и в кумулятивном рождении адронов. Предсказания модели находят подтверждение в угловой зависимости поляризации кумулятивных  $\Lambda^0$ -частиц с максимумом около  $90^\circ$  (л.с.) <sup>/11/</sup>.

При планировании эксперимента для измерения поляризации кумулятивных протонов выбор предпочтительного угла измерения на основании имеющихся данных сделать трудно. В отличие от предсказаний модели <sup>/10/</sup> экспериментальные данные <sup>/2,3,4/</sup> дают указание на рост величины поляризации (до уровня  $10 \div 20\%$ ) с увеличением угла выхода протонов свыше  $90^\circ$ . Учитывая значительную угловую зависимость выхода кумулятивных протонов, это можно было бы интерпретировать как увеличение с ростом угла вклада тех каналов реакции (1), в которых роль спина существенна.

В данной работе мы представляем результаты измерения поляризации протонов под углом  $158^\circ$  в реакции

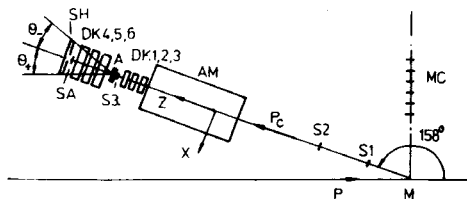


при энергии первичных протонов от 17 до 62 ГэВ. Эксперимент был выполнен на ускорителе У-70 ИФВЭ (Серпухов).

## ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Измерения выполнены с помощью поляриметра, в котором в качестве трековых детекторов использовались дрейфовые камеры. Схема эксперимента показана на рис.2. Внутренний пучок протонов ускорителя У-70 наводился на мишень при нарастании энергии пучка от 17 до 62 ГэВ. Углеродная мишень имела размеры  $4 \times 4$  мм с плотностью в направлении вылета кумулятивных протонов не более  $0,4 \text{ г/см}^2$ . Импульс вторичных частиц определялся

Рис.2. Схема эксперимента. М – углеродная мишень, МС – мониторные счетчики, S1 ÷ 3 – сцинтилляционные счетчики, ДК1 ÷ 6 – дрейфовые камеры, А – углеродный анализатор, АМ – анализирующий магнит. SA – счетчик антисовпадений, SH – годоскопические счетчики.



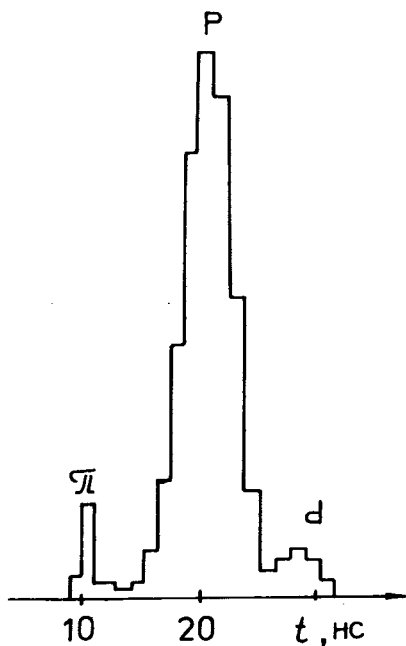


Рис.3. Времяпролетный спектр регистрируемых частиц.

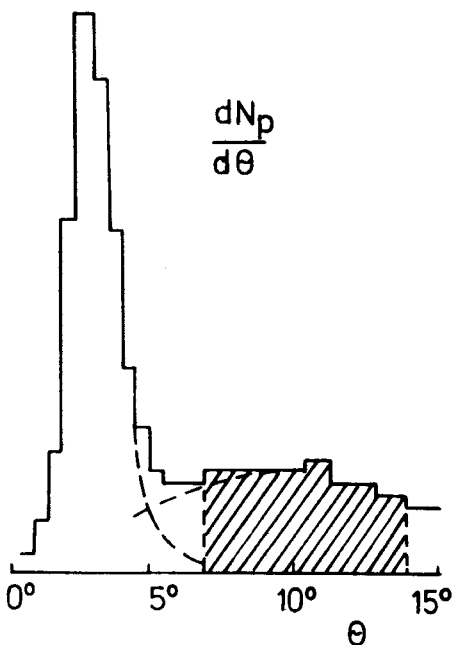
по углу отклонения в магнитном поле на основе измерения направления и координат трека дрейфовыми камерами ДК 1÷3, расположенными за анализирующим магнитом. Разделение частиц по массе ( $\pi$ ,  $p$ ,  $d$ ) осуществлялось по времени пролета (рис.3). Собственно поляриметр состоял из трех блоков малых дрейфовых камер ДК 1,2,3 (126x126 мм) с общим числом плоскостей 12 (8у и 4х), счетчика S3, определяющего размеры (30x40 мм) рабочей области пучка анализируемых протонов, анализатора (углеродной пластины толщиной 35 мм) и трех блоков дрейфовых

камер ДК 4,5,6 (256x256 мм) с двумя х- и у-плоскостями в каждом. За камерами ДК 4÷6 располагались годоскопические счетчики SN и счетчик антисовпадений SA, включенные в схему запуска электроники поляриметра. Регистрирующая электроника, основу которой составляли времяцифровые преобразователи <sup>1/12/</sup>, была выполнена в стандарте КАМАК и связана с ЭВМ СМ-4. Скорость набора данных при 50% мертвом времени составляла ~50 событий/с.

Для геометрического анализа событий была принята правая система координат с направлением Z вдоль оси поляриметра. Отклонение частиц в анализирующем магните происходило в вертикальной плоскости YZ. Угол  $\eta_Y$  между осью Y поляриметра и направлением нормали к плоскости реакции (2) составлял  $8,7^\circ$ . Угол  $\eta_R$  вращения вектора поляризации в плоскости YZ определялся импульсом протона и величиной интеграла магнитного поля и равнялся в среднем  $38^\circ$ . По разности  $\eta_R - \eta_Y$  определялось действительное значение вектора поляризации  $\vec{P}$  (по нормали к плоскости реакции (2)) на основе измерения его Y-проекции.

При off-line обработке данных восстанавливались траектории частиц до и после рассеивателя, определялись полярный  $\theta$  и азимутальный  $\phi$  углы рассеяния и Z-координата точки вторичного рассеяния, совпадение которой с положением мишени анализатора использовалось в качестве одного из критериев отбора полезных событий. Рабочий интервал по полярному углу был ограничен

Рис.4. Распределение регистрируемых событий по полярному углу  $\theta$ . При  $\theta < 5^\circ$  преобладает многократное кулоновское рассеяние, регистрация событий при  $\theta \leq 3^\circ$  подавлена счетчиком антисовпадений. Область рабочих углов поляриметра заштрихована.



сверху размерами камеры ДК 6 при  $\theta_{\max} = 13^\circ$ . Рассеяние на малые углы, где многократное кулоновское рассеяние преобладает над ядерным (рис.4), подавлялось с помощью счетчика антисовпадений SA. Нижняя граница с учетом необходимости исключения области "полутени" счетчика SA, обусловленной эмиттансом пучка анализируемых протонов, была выбрана равной  $\theta_{\min} = 7^\circ$ . События, соответствующие рассеянию в направлении, близком к YZ-плоскости, которые имеют малый вес при определении величины лево-правой асимметрии, исключались наложением на азимутальный угол условия  $(0^\circ \pm 45^\circ) \leq \phi \leq (180^\circ \pm 45^\circ)$ . Азимутальная асимметрия определялась по усреднению  $\cos \phi$  в диапазоне  $\theta_{\min} < \theta < \theta_{\max}$  согласно соотношению

$$A_p(\theta_{\min}, \theta_{\max}) = (a/N) \sum_{i=1}^N \cos \phi, \quad (3)$$

где  $a$  — константа, определяемая выбором границ рабочей области  $\phi$ .

Одним из источников ложной асимметрии являются неточности в геометрической привязке детекторов. Для уточнения относительного положения входного (ДК 1,2,3) и выходного (ДК 4,5,6) блоков камер был использован критерий "сшивки" прямых треков в центральной плоскости рассеивателя при обработке событий с выведенным из пучка рассеивателем. При этом достигалась точность согласования геометрических осей камер ДК 1±6 по координате X, равная  $\delta X \leq 0,2$  мм, и по полярному углу  $\theta$ , равная  $\delta \theta \leq 0,2$  мрад. (рис.5). Указанной точности коррекции координат и углов соответствует ложная асимметрия  $\delta A_p \leq 0,5\%$ . Другим источником ложной асимметрии является неоднородность эффективности восстановления треков по площади детекторов, которая

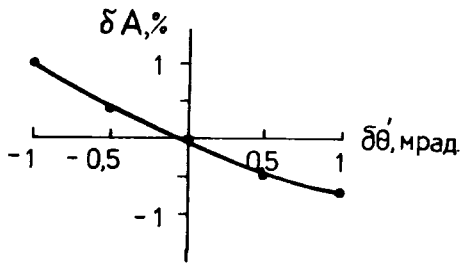


Рис.5. Зависимость измеряемой асимметрии рассеяния от точности согласования дрейфовых камер по углу  $\theta'$ -проекции полярного угла  $\theta$  на плоскость  $XZ$ .

при больших фоновых нагрузках камер может быть существенной. Этот эффект трудно надежно оценить на основании предварительного исследования эффективности отдельных каналов, поскольку при длительных экспозициях эффективность в условиях больших радиационных нагрузок может меняться. Для контроля ложной асимметрии такого рода рабочие серии измерений с регистрацией протонов чередовались с контрольными сериями с регистрацией  $\pi^+$ -мезонов. Средняя величина асимметрии рассеяния на бесспиновых частицах (пионах) составила  $A_\pi = (-1,5 \pm 2,0)\%$ . Соответствующая поправка учитывалась при вычислении асимметрии рассеяния кумулятивных протонов.

Для перекрытия интервала по импульсу кумулятивных протонов от 500 до 800 МэВ/с измерения проводились при двух значениях поля в анализирующем магните. Соответствующие импульсные спектры показаны на рис.6.

Поляризация кумулятивных протонов определялась по формуле

$$P = A_p(\theta_{\min}, \theta_{\max}) / A_c(T, \theta_{\min}, \theta_{\max}).$$

Здесь  $A_c(T, \theta_{\min}, \theta_{\max}) = (1/N) \sum_{i=1}^N A_c(T_i, \theta_i)$  — средневзвешенное по всей совокупности событий значение анализирующей способности углерода ( $T_i$  — кинетическая энергия протона в центре углеродного анализатора). При вычислении  $A_c(T_i, \theta_i)$  мы использовали аппроксимации  $A_c$  из работы /13/, точность которой для нашего диапазона  $\theta$  оценивается в  $\pm 2,5\%$  при  $T \geq 200$  МэВ.

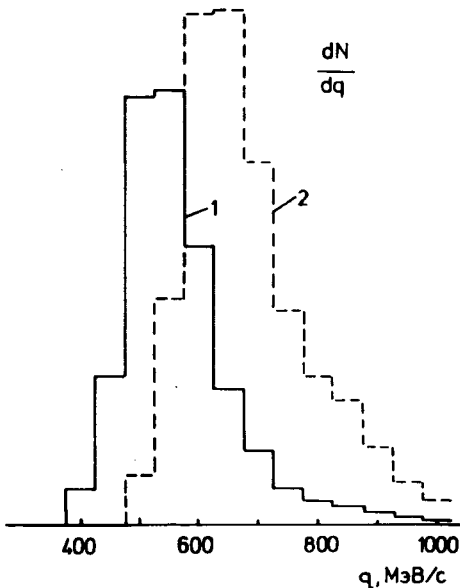


Рис.6. Импульсный спектр регистрируемых частиц при двух значениях поля в анализирующем магните (1 — 0,222 Тл, 2 — 0,266 Тл).

Полное число полезных событий для интервалов  $17 \leq E_0 \leq 62$  ГэВ и  $125 \leq T \leq 300$  МэВ после отбора по всем приложенным критериям составило  $N = 13000$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ

При обработке данных набранная статистика была распределена по 6 импульсным интервалам кумулятивных протонов и 3 интервалам по энергии  $E_0$  первичных протонов со средним значением 24,5; 39,5 и 54,5 ГэВ. Измеренная величина асимметрии рассеяния кумулятивных протонов в реакции  $p + {}^{12}\text{C} \rightarrow p_c + x$  при угле выхода  $158^\circ$  показана на рис.7. Нет существенного различия в величине и в импульсной зависимости асимметрии при различной энергии первичных протонов.

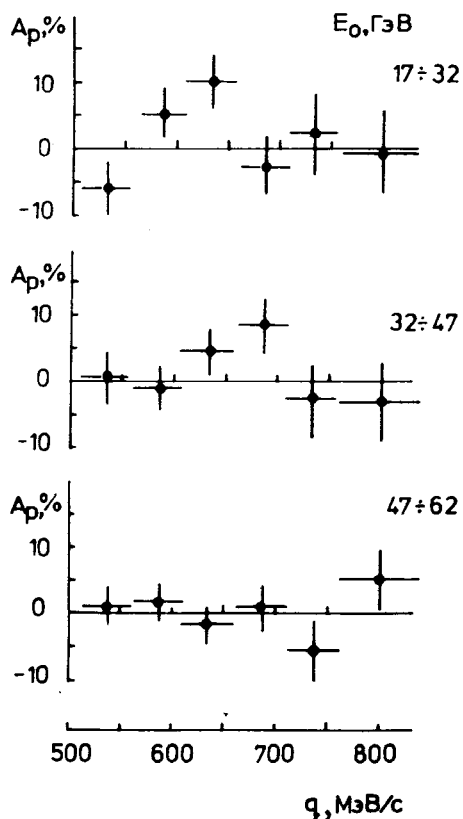


Рис.7. Асимметрия рассеяния кумулятивных протонов в трех интервалах энергии первичных протонов  $E_0$ .

Зависимость поляризации от импульса при усреднении по полному интервалу энергии первичных протонов приведена на рис.8. Величина поляризации в пределах исследованного интервала импульсов не превышает 10% при среднем значении  $\bar{P} = +0,033 \pm 0,021$ .

Энергетическая зависимость  $P$  от энергии  $E_0$  представлена на рис.9. Зависимость от энергии первичных протонов в интер-

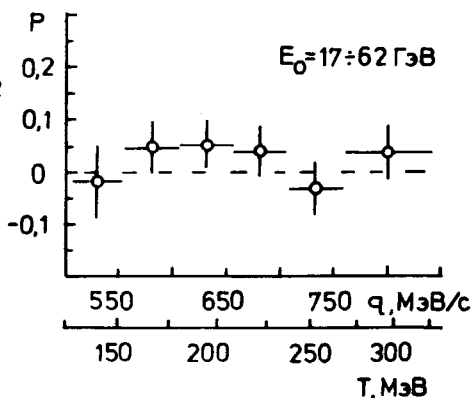


Рис.8. Зависимость поляризации от импульса кумулятивных протонов (при усреднении по  $E_0$  от 17 до 62 ГэВ).

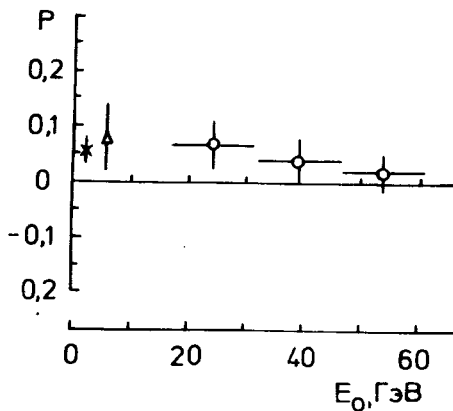


Рис.9. Зависимость поляризации кумулятивных протонов от энергии первичных протонов  $E_0$ .

○ — наши данные,  $p + C \rightarrow p_C$  ( $158^\circ$ , 510-840 МэВ/с) + х;  
 × —  $p$  (1,94 ГэВ) +  $C \rightarrow p_C$  ( $145^\circ$ , 510-700 МэВ/с) + х;  
 Δ —  $p$  (7,5 ГэВ) +  $C \rightarrow p_C$  ( $145^\circ$ , 530-650 МэВ/с) + х.

вале от 17 до 62 ГэВ выражена слабо и не выходит за пределы коридора ошибок. На этом же рисунке показано усредненное по импульсу значение величины поляризации при (полной) энергии  $E_0 = 1,94 \text{ ГэВ}^{4/}$  и  $E_0 = 7,5 \text{ ГэВ}^{6/}$  для этой же реакции при угле выхода протонов  $145^\circ$ . Можно отметить отличие поляризации от нуля во всех трех экспериментах, хотя отклонение от нулевой величины находится на уровне одного-двух стандартных отклонений. Близкое к нулю значение величины поляризации можно истолковать как один из аргументов в пользу преобладающей роли механизмов образования кумулятивных протонов спектаторного типа или через рождение и распад высококовозбужденных барионных кластеров.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Баюков Ю.Д. и др. — ЯФ, 1967, т.5, с.337.
2. Зилькарнеев Р.Я., Кутуев Р.Х. — ЯФ, 1984, т.39, с.785.
3. Бургов Н.А. и др. — ЖЭТФ, 1980, т.31, с.700.
4. Белостоцкий С.Л. и др. — ЯФ, 1985, т.42, с.1427.
5. Воробьев Л.С. и др. — ЯФ, 1985, т.41, с.1541.
6. Авакян Р.О. и др. — ЯФ, 1985, т.42, с.667.
7. VII Международный симпозиум по спиновым явлениям в физике высоких энергий, Серпухов, ИФВЭ, 1987.
8. Frankel S., Woloshyn R.M. — Phys.Rev., 1977, с16, р.1680.
9. Зилькарнеев Р.Я. и др. — ЯФ, 1980, т.32, с.889.
10. Ефремов А.В. — ЯФ, 1974, т.24, с.166.
11. Лексин Г.А., Смирнитский А.В. — Письма в ЖЭТФ, 1978, №2, с.97.
12. Базиладзе С.Г., Лохоня Л. Сообщение ОИЯИ 13-11783, Дубна, 1978.
13. Ransome R.D. et al. — Nucl. Instr. and Meth., 1982, v.201, p.315.

Рукопись поступила 12 февраля 1988 года.