ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2005–21
ОЭФ

В.В. Абрамов, А.А. Волков, П.И. Гончаров, А.В. Кораблев,
Ю.П. Корнеев, А.В. Кострицкий, А.Н. Криницын, В.И. Крышкин,
А.А. Марков, В.В. Талов, Л.К. Турчанович

НАБЛЮДЕНИЕ МНОГОПАРТОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В *pA*-СОУДАРЕНИЯХ ПРИ ЭНЕРГИИ 70 ГЭВ

Направлено в *ЯФ*

Протвино 2005

УДК 539.1.074.3 М-24

Аннотация

Абрамов В.В., Волков А.А., Гончаров П.И. и др. Наблюдение многопартонных взаимодействий в pA-соударениях при энергии 70 ГэВ: Препринт ИФВЭ 2005 – 21. – Протвино, 2005. – 8 с., 8 рис., 1 табл., библиогр.: 11.

В эксперименте исследовалось образование некомпланарных пар адронов с поперечными импульсами более 1 ГэВ/с в протон-ядерных взаимодействиях. Полученные величины показателя степени A-зависимости для некомпланарных пар адронов существенно больше, чем для компланарных. Такое поведение образования адронных пар от массового числа ядра может быть объяснено вкладом многопартонных взаимодействий в *pA*-соударениях.

Abstract

Abramov V.V., Volkov A.A., Goncharov P.I. et al. Observation of Multi Parton Interaction in pA-Collisions at 70 GeV: IHEP Preprint 2005 –21. – Protvino, 2005. – p. 8, fig. 8, tables 1, refs.: 11.

Production of hadron pairs with transverse momentum more than 1 GeV/c in collisions of 70 GeV protons off nuclei is measured. The obtained exponent for *A*-dependence for non-coplanar hadron pairs is substantially higher than for coplanar hadron pairs. Such dependence of the hadron pair production on atomic mass number can be explained by the contribution of multi parton interactions into *pA* collisions.

© Государственный научный центр
Российской Федерации
Институт физики высоких энергий, 2005

Введение

Образование мезонов в *pp*-взаимодействиях с поперечными импульсами (p_T) более 1 ГэВ/с происходит на партонном уровне. Очевидно, что помимо однопартонных взаимодействий должны существовать и многопартонные (двухпартонное) взаимодействия, показанные на рис. 1.

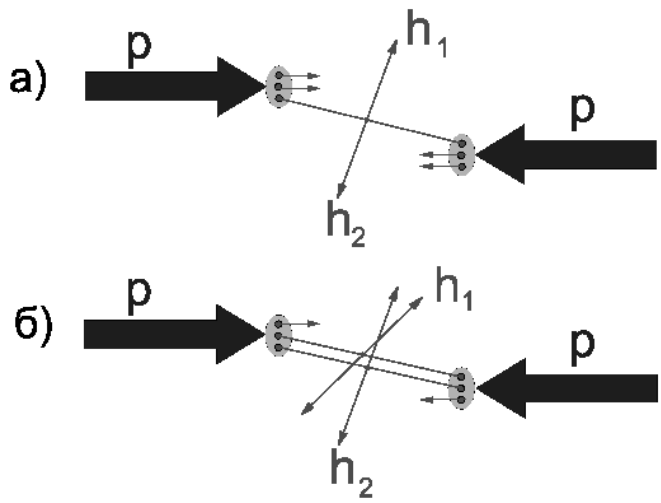

Рис. 1. Образование пары адронов в *pp*-столкновениях: а) однопартонное взаимодействие; б) двухпартонное взаимодействие.

Кроме важности самого наблюдения такого процесса, двухпартонное взаимодействие позволяет получить информацию о пространственном распределении партонов в протоне и о возможных партон-партонных корреляциях, т.е. функцию $\Gamma(x_1,x_2,b_T)$ – вероятность найти в одном протоне два партона с долей импульса x_1 и x_2 на расстоянии b_T в поперечном направлении. Поскольку в таком процессе распределение по углу φ равномерно (см. рис. 2), то обнаружить его легче всего при регистрации некомпланарных пар частиц, образованных в разных актах взаимодействия (адроны h_1 и h_2 не лежат в одной плоскости, проходящей через ось пучка, т. е. $\Delta\varphi<180^0$).

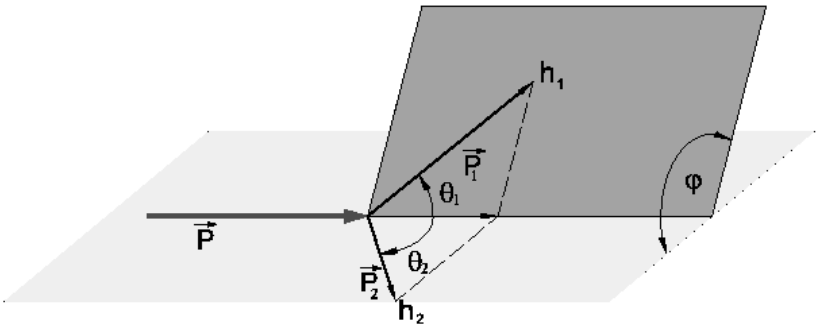

Рис. 2. Кинематика образования некомпланарных пар адронов.

В первом приближении партоны взаимодействуют независимо, и корреляционная функция $R = \frac{\sigma_{h_1 h_2} \times \sigma_{\text{int}}}{\sigma_{h_1} \times \sigma_{h_2}}$, где σ_{hh} – сечение образования пары адронов h_1 и h_2; σ_{int} – сечение неупругого взаимодействия; σ_h – сечения инклюзивного образования адронов h_1 и h_2, должна быть близка к статистической величине. И действительно, как показано на рис. 3, на котором приведена зависимость корреляционной функции от азимутального угла φ для *pp*-взаимодействий, в широком диапазоне углов корреляционная функция близка к единице, т.е. вклад процессов, изображённых на рис. 1а, мал.

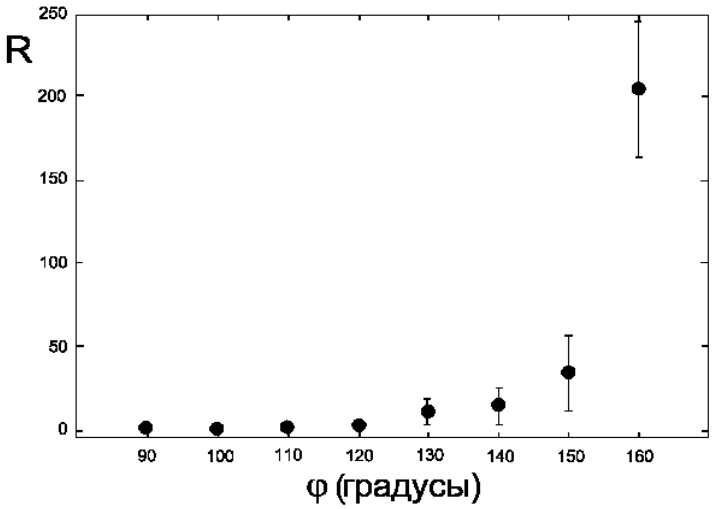

Рис. 3. Зависимость корреляционной функции от угла разлёта φ для образования пар адронов с одинаковыми зарядами в *pp*-столкновениях, когда каждый адрон имеет поперечный импульс в диапазоне $0{,}8<p_T<2{,}4$ ГэВ/с.

Двухпартонные взаимодействия должны происходить и на ядрах, как показано на рис. 4а. Образование частиц на ядрах описывается выражением $\sigma_A = \sigma_0 A^{\alpha}$, где σ_A – сечение образования пар на ядре; σ_0 – сечение образования пар на нуклоне. В отличие от *pp*-взаимодействий, на ядрах могут участвовать партоны из разных нуклонов, как показано на рис. 4б.

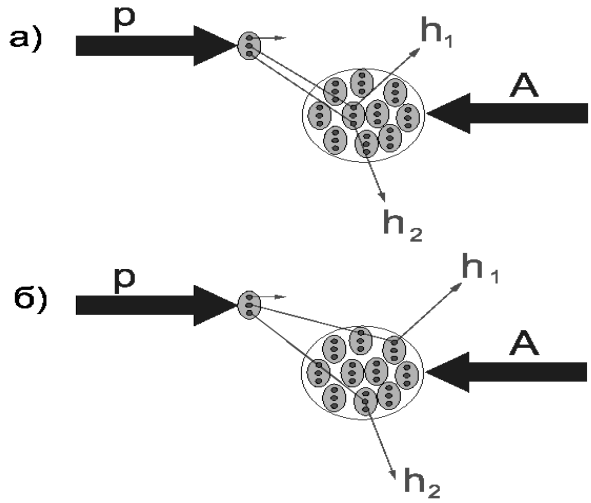

Рис. 4. Образование пары адронов в pA-столкновениях: а) двухпартонное взаимодействие, аналогичное pp – столкновениям; б) двухпартонное взаимодействие на разных нуклонах.

Такой процесс был предложен в работе [1] для объяснения повышенной множественности образования частиц на ядрах при больших значениях E_T. Кроме того, в работе [2] при теоретическом описании поведения величины α для образования симметричных, компланарных пар адронов на тяжелых ядрах учитывались однопартонное и двухпартонное взаимодействия. Учет двухпартонного взаимодействия существенно менял поведение α от p_T. Процесс, изображенный на рис. 4б, согласно оценкам, сделанным в [2], имеет величину $\alpha_2(x_T) \approx 2\alpha_1(x_T)$ –2/3, где α_1 – показатель степени для инклюзивного образования адронов. Таким образом, отличительным признаком двухпартонного взаимодействия является некомпланарность адронных пар и заметное превышение величины α_2 по сравнению с этой величиной для инклюзивных процессов и компланарных пар.

Поиски многопартонных взаимодействий проводились при достаточно высоких энергиях, когда в конечном состоянии имелись несколько струй, что методически усложняло определение и кинематических переменных, и вклада фоновых процессов. В эксперименте AFS [3] утверждалось о надежном наблюдении двухпартонного взаимодействия. Однако в работе не был точно учтен фон, связанный с КХД процессами, и конечный результат оказался заметно завышен по сравнению с ожидаемой величиной. В эксперименте UA2 [4] видели указание на этот процесс, но ограничились приведением только верхней границы. В эксперименте CDF [5] на уровне 2,5 σ был обнаружен 5%-ный вклад двухпартонного взаимодействия в образование четырех струй с $p_T > 25$ ГэВ/с.

Исследование двухпартонного взаимодействия на коллайдерах не только не имеет преимущества перед ускорителями с фиксированной мишенью, но и затруднено из-за большой множественности и сложности использования ядерные мишени. А как показано выше, pA-взаимодействия имеют чётко выделенную сигнатуру для двухпартонного взаимодействия.

Постановка эксперимента

Эксперимент по изучению образования некомпланарных пар адронов в pA-соударениях при энергии протонов 70 ГэВ проводился на двух плечевом спектрометре ФОДС-2, рис. 5, созданного на базе спектрометрического магнита с двумя зазорами. Подробное описание установки приведено в [6].

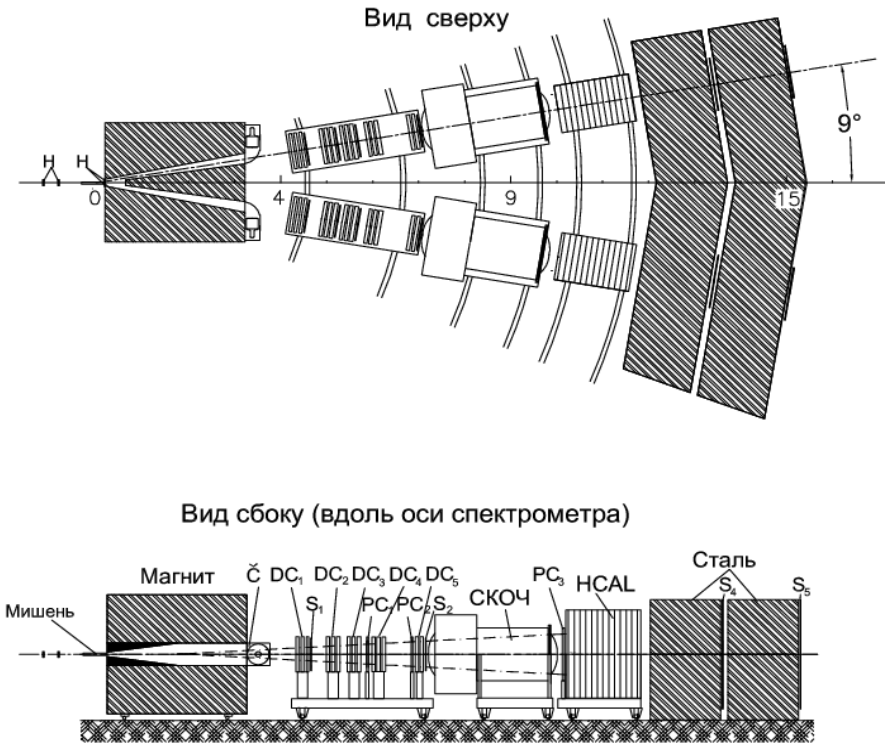

Рис. 5. Установка ФОДС. H – годоскоп; Č – черенковский пороговый счётчик; DC_i – дрейфовые камеры; S_i – сцинтилляционные счётчики; PC_i – пропорциональные камеры; СКОЧ – спектрометры колец черенковского излучения; HCAL – адронный калориметр.

Заряженные частицы отклоняются в вертикальной плоскости. В каждом плече спектрометра одновременно регистрируются частицы обоих знаков заряда. Углы между осями плеч спектрометра и направлением протонного пучка составляют 160 мрад, что соответствует углам вылета релятивистских частиц из центра мишени 90° в системе центра масс сталкивающихся нуклонов при энергии 70 ГэВ. Частицы одного знака заряда отклоняются в вертикальной плоскости в одну сторону. Это приводит к тому, что регистрируемые в плечах спектрометра пары таких частиц имеют абсолютную разность азимутальных углов $\Delta\varphi$ от 95° до 145°. Пары частиц с разными зарядами практически компланарны: $\Delta\varphi > 160°$. В горизонтальной плоскости частицы не отклоняются в магнитном поле. Это позволяет восстанавливать вершину взаимодействий и определять фон, связанный с взаимодействием частиц в материале установки.

В каждом плече установки расположены трековые детекторы (дрейфовые камеры), триггерные сцинтилляционные счетчики, спектрометры колец черенковского излучения (СКОЧ) и адронные калориметры. Интенсивность пучка и его положение в пространстве измеряются ионизационными камерами. Триггерный сигнал каждого плеча вырабатывается при срабатывании сцинтилляционных счетчиков и адронного калориметра, отбирающих частицы с импульсами более 5 ГэВ/с (при максимальном поле в магните). Триггерный сигнал для регистрации двух частиц вырабатывается схемой совпадений триггерных сигналов обоих плеч спектрометра. Проводится также измерение времени прихода сигналов со всех сцинтилляционных счетчиков. Это позволяет выделять двухтрековые события и определить фон, связанный со случайными временными совпадениями однотрековых событий.

Измерения проводились на четырех ядерных мишенях (Be, Al, Cu и Pb) длиной 0,1 λ_I, при двух значениях магнитного поля (максимальном поле и 0,5 от максимального поля). Изменение

магнитного поля позволило расширить диапазон поперечных импульсов исследуемых пар частиц при одинаковых разностях азимутальных углов. Пучок протонов на мишени установки имел следующие размеры: 5 мм по горизонтали и 3 мм по вертикали (90% интенсивности).

Обработка данных

Интенсивность пучка устанавливалась индивидуально для каждой мишени с условием, чтобы загрузка дрейфовых камер в плечах не превышала 3×10^5 частиц в секунду. Эффективность реконструкции треков была около 99% при данной загрузке камер. После реконструкции были отобраны пары однозарядовых событий с абсолютной разностью поперечных импульсов p_T<0,3 ГэВ/с и продольными импульсами p_L<0,3 ГэВ/с в системе центра масс сталкивающихся нуклонов. Ошибка определения поперечного импульса менялась от 3 до 5% при p_T от 0,9 до 1,8 ГэВ/с соответственно. Точность определения величины $\Delta\varphi$ составляла 3°.

Величина фона (случайные временные совпадения и образование частиц в веществе установки) определялась для каждого интервала суммы поперечных импульсов и разности азимутальных углов пары зарегистрированных углов. Фон случайных временных совпадений не превышал 5% для всех интервалов. Фон от взаимодействия частиц в материале установки менялся от 7 до 10% в зависимости от суммы поперечных импульсов.

Анализ результатов

Величина показателя A-зависимости определяется как $\alpha = \ln(\sigma_1/\sigma_2)/\ln(A_1/A_2)$, где A_1 и A_2 – массовое число ядер мишеней, а σ_1 и σ_2 – дифференциальные сечения парного образования адронов. Так как при вычислении α входят отношение сечений образования пар адронов, аксептонсы плеч спектрометра и абсолютная нормировка протонного монитора сокращаются. Это существенно уменьшает систематическую погрешность измерений, которая составляла 4,5 (3% – относительное мониторирование интенсивности пучка и менее 2% – вычитание фоновых событий). На рис. 6 показано распределение α (Be-Al) для некомпланарных пар адронов ($\Delta\varphi$ от 95° до 125°) с отрицательными зарядами в зависимости от суммы поперечных импульсов.

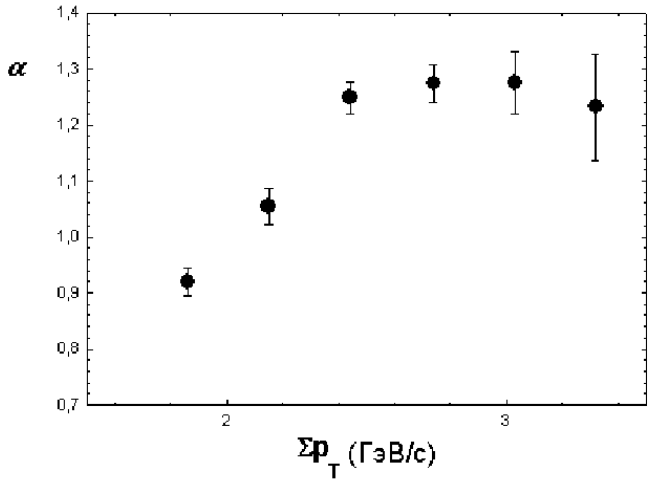

Рис. 6. Зависимость величины α (Be-Al) для образования пары адронов h^-h^- от суммы p_T.

Показатель α растет с увеличением поперечных импульсов и выходит на плато при Σp_T > 2,3 ГэВ/с. Такое же поведение α наблюдается и для других пар ядер (Be-Cu и Be-Pb). Зависимости показателя степени α от абсолютной разности азимутальных углов для трех пар

ядер (Be-Al, Be-Cu и Be-Pb) при $\Sigma p_T > 2{,}3$ ГэВ/с показаны на рис. 7 (пары адронов с отрицательными зарядами) и на рис. 8 (пары адронов с положительными зарядами).

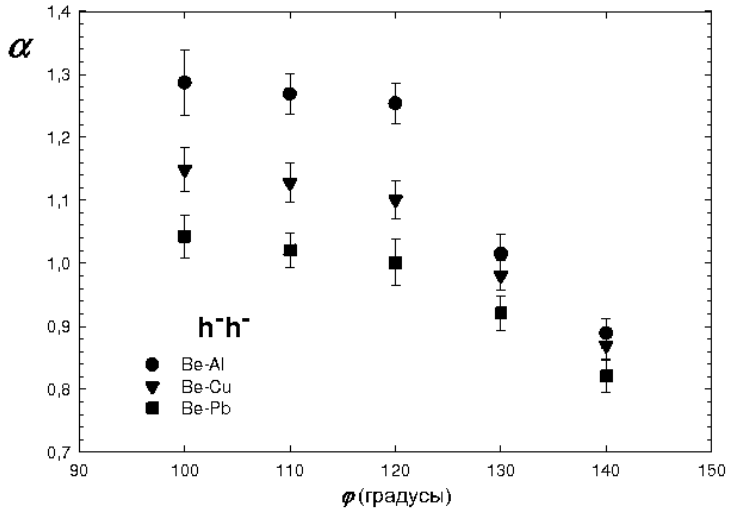

Рис.7. Зависимость величины α для образования пары адронов h^-h^- с суммой $p_T \geq 2{,}2$ ГэВ/с для разных пар ядер от угла разлета φ.

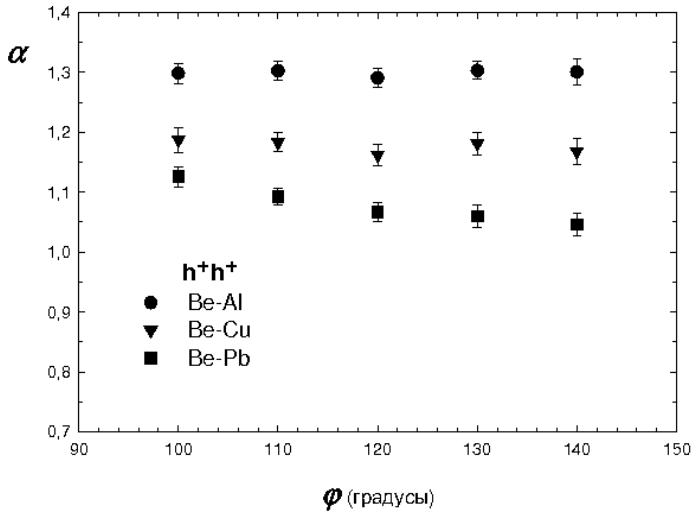

Рис. 8. Зависимость величины α для образования пары адронов h^+h^+ с суммой $p_T \geq 2{,}2$ ГэВ/с для разных пары ядер от угла разлета φ.

Пары с отрицательными зарядами в исследуемой области поперечных импульсов состоят в основном из π- и K-мезонов (примесь антипротонов менее 5%) [7]. Пары с положительными зарядами состоят на ≈ 50% из мезон-протонных и протон-протонных пар. Различие в поведении α для h^-h^- и h^+h^+ объясняется тем, что протоны образуются не только в результате фрагментации кварка (дикварка), но и благодаря рассеянию сжатой конфигурации трех валентных кварков [8, 9].

Поведение α_2 для некомпланарных и компланарных [10, 11] пар адронов сильно отличается. Величина $\alpha_2 \approx 0{,}9$ для компланарных пар адронов с отрицательными зарядами и около 1 с

положительными зарядами для всех комбинаций ядер. Образование таких пар связано в основном с однопартонным взаимодействием. Показатель $\alpha_1(p_T)$ был измерен ранее [7]. α_1 образования мезонов ≈ 1 для легких ядер (C, Al) и 0,9 – для тяжелых ядер (Pb) при p_T от 1 до 2 ГэВ/с. Для протонов α_1 на 10% больше, чем для мезонов. На основе этих данных можно получить оценку величин α_2, исходя из предсказания теоретической модели для двухпартонного взаимодействия.

В табл. 1 представлены величины α_2 для некомпланарных и компланарных пар адронов, а также теоретическая оценка для многопартонного взаимодействия. Экспериментальные значения α_2 для некомпланарных пар усреднены в интервале абсолютной разности азимутальных углов $\Delta\varphi$ от 95° до 125°. Исходя из этих данных, можно сделать вывод, что образование на ядрах значительной части некомпланарных пар адронов с большими поперечными импульсами происходит в результате двухпартонных взаимодействий.

Таблица 1.

Реакция	Некомпланарные пары	Компланарные пары	Двухпартонное взаимодействие
Be-Al (h^-h^-)	1,260±0,020	0,90±0,04	1,33
Be-Pb (h^-h^-)	1,022±0,019	0,90±0,04	1,13
Be-Al (h^+h^+)	1,297±0,010	1,00±0,03	1,43
Be-Pb (h^+h^+)	1,093±0,009	1,00±0,03	1,23

Заключение

Совокупность экспериментальных данных указывает на заметный вклад двухпартонных взаимодействий в сечение образования некомпланарных пар адронов для суммы поперечных импульсов $\Sigma p_T \sim 3$ ГэВ/с, что соответствует достаточно большим x. При этих значениях взаимодействия партонов уже нельзя считать независимыми. Это открывает уникальную возможность измерения функции $\Gamma(x_1,x_2,b_T)$.

Список литературы

[1] Змушко В.В. ЯФ, 1980, т. 32, 448.
[2] Копелиович Б.З. и Недермайер Ф. ЯФ, 1985, т.42, 797.
[3] AFS coll., Akesson T. et al. Z. Phys., 1987, C34, 163.
[4] UA2 coll., Alitti J. et al. Phys. Lett., 1991, B268, 145.
[5] CDF coll., Abe F. et al. Phys. Rev., 1993, D47, 4857.
[6] Абрамов В.В. и др. ПТЭ, 1992, т. 6, 75.
[7] Абрамов В.В. и др. ЯФ, 1985, т. 41, 357.
[8] Замолодчиков А.Б., Копелиович Б.З., Лапидус Л.И. Письма в ЖЭТФ, 1981, т. 33, 612.
[9] Berch G., Brodsky S. J., Goldhaber A.S., Gunion J.G. Phys. Rev. Lett., 1981, 47, 297.
[10] Абрамов В.В. и др. Письма в ЖЭТФ, 1983, т. 38, 296.
[11] Abramov V.V. et al. Z. Phys., 1985, C27, 491.

Рукопись поступила 9 июня 2005 г.

В.В. Абрамов, А.А. Волков, П.И. Гончаров и др.
Наблюдение многопартонных взаимодействий в pA-соударениях при энергии 70 ГэВ.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы *Word.*

Редактор Н.В.Ежела.

Подписано к печати 09.06.2005. Формат 60 × 84/8. Офсетная печать.
Печ.л. 0, 87. Уч.– изд.л. 0,8. Тираж 80. Заказ . Индекс 3649.
ЛР №020498 от 17.04.97.

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий,
142284, Протвино Московской обл.

Индекс 3649

П Р Е П Р И Н Т 2005–21 , ИФВЭ, 2005