

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Р 88

УДК 539.1.074.6

539.171.12./6 539.126

1-87-601

РУСАКОВИЧ

Николай Артемьевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ ЭКРАНИРОВАНИЯ ЦВЕТА
В ПРОЦЕССАХ БИНАРНОЙ
И ИНКЛЮЗИВНОЙ ПЕРЕЗАРЯДКИ
ПРИ ЭНЕРГИИ 10 ГэВ**

Специальность: 01.04.01 - экспериментальная физика

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

Дубна 1987

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем
Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук,
профессор

П.А.Будагов

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук

В.А.Свиридов

кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник

Г.И.Мерзон

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Институт ядерных исследований АН СССР, г.Троицк.

Защита диссертации состоится "29" октб 1987 г.

в _____ часов 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 "12" октб 1987 г.

Ученый секретарь специализированного Совета
доктор физико-математических наук

П.А.Батусов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

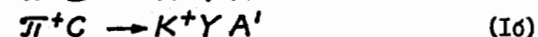
Актуальность. Открытие кварк-партоновой структуры адронов привело к тому, что их взаимодействие стало рассматриваться как сложный динамический процесс, протяженный в пространстве и во времени. Оказалось, что пространственные размеры области, в которой происходит диссоциация адронов в партоны и последующее формирование конечного адронного состояния, могут превышать размер нуклона и при достаточно большой энергии столкновения становятся сравнимыми с размерами атомных ядер. Поэтому исследование столкновения адронов высокой энергии с атомными ядрами открывает новые возможности для изучения динамики сильного взаимодействия.

Современная теория сильного взаимодействия - квантовая хромодинамика - успешно применяется для описания так называемых "жестких" процессов с большой передачей импульса, где можно использовать методы теории возмущений из-за малости константы связи. В "мягких" процессах, наоборот, теория возмущений неприменима и методы расчета сечений взаимодействия не разработаны.

Одним из важнейших качественных предсказаний КХД является эффект зависимости полных сечений взаимодействия адронов от их размеров. Этот эффект обусловлен специфическим явлением - взаимным экранированием цветов кварков. Экспериментальная проверка этого фундаментального предсказания для разных процессов и в широком диапазоне энергий - одна из актуальных проблем адронной физики. В диссертации показано, что отношения дифференциальных сечений реакций бинарной и инклюзивной перезарядки оказываются весьма чувствительными к цветовой структуре адронов.

Работа посвящена изучению эффектов экранирования цвета в следующих процессах:

- квазибинарных реакций с обменом гиперзарядом



в интервале переданных импульсов $0 < |t| < 0,4$ (ГэВ/с)²; N и A' означают нуклон и ядро отдачи соответственно;

- инклюзивных реакциях

Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ



в области фрагментации пучковой частицы, ($x > 0,6$), $A = \text{H, D, Li, Be, Al, Cu}$.

Экспериментальные исследования выполнены на установке ГИПЕРОН, действующей на 18-м канале серпуховского ускорителя.

Цель работы – получение новых данных о динамике мягких адрон-адронных и адрон-нуклонных столкновений при промежуточных энергиях; исследование свойств основных кварк-глюонных графиков, соответствующих процессам бинарной и инклюзивной перезарядки; анализ полученных экспериментальных результатов в рамках КХД-модели цветных струн и других современных теоретических представлений.

Научная новизна. Впервые измерена зависимость $A_{\text{eff}}(t)$ эффективного числа нуклонов в ядре от переданного импульса для реакций квази-бинарной перезарядки. Поведение $A_{\text{eff}}(t)$ согласуется с расчетом по КХД-модели, учитывающей цветное экранирование.

Измерены ранее не исследовавшиеся отношения $R_A(x)$ дифференциальных сечений инклюзивного образования η -мезонов на ядрах и на свободном нуклоне. Обнаружена растущая зависимость $R_A(x)$, которая не может быть обоснована в рамках ранее существовавших теоретических моделей. Наблюдаемое поведение $R_A(x)$ в диссертации объясняется с помощью предложенной новой КХД-интерпретации основных трехреджеонных графиков RRR и RRP , отвечающих реакциям инклюзивной перезарядки.

Практическая ценность. Создан годоскопический калориметр электромагнитных ливней с апертурой 70×90 см, включающий 62-канальный черенковский детектор полного поглощения и активный конвертор. Использование этого детектора сделало возможным проведение ряда физических экспериментов на установке ГИПЕРОН и получение важных новых научных результатов, среди которых: измерение A -зависимости реакций инклюзивной перезарядки в области фрагментации пучка, исследование относительных выходов η -мезонов в π^+D - и K^+D -взаимодействиях, установление верхней границы вероятности распада $K_S^0 \rightarrow e^+e^-$. Выполненные методические разработки составили основу для создания полномасштабного ливневого калориметра установки ГИПЕРОН с апертурой $2 \times 1,1$ м; они будут использованы также при создании новой крупной исследовательской установки на УНК.

Физическая интерпретация полученных экспериментальных результатов, развитая в диссертации, позволяет прояснить роль эффектов цветного экранирования в адрон-адронных и адрон-ядерных взаимодействиях и будет полезна при планировании программы исследований динамики сильного взаимодействия при более высоких энергиях.

Автор защищает:

1. Результаты экспериментальных исследований, выполненных с применением разработанной аппаратуры и созданного программного обеспечения:

- измерение дифференциальных сечений бинарных реакций с обменом гиперзарядом $\pi^+n \rightarrow K^+\Lambda$, $\pi^+n \rightarrow K^+\Sigma^0$ при 10,3 ГэВ/с;
- определение t -зависимости эффективного числа нуклонов в ядре углерода в реакциях перезарядки $\pi^+C \rightarrow K^+\gamma A'$;
- определение A -зависимости инклюзивных дифференциальных сечений перезарядки $\pi^+ \rightarrow \eta$ при 10,5 ГэВ/с.

2. Результаты исследования A -зависимости основных кварк-глюонных диаграмм, соответствующих процессам упругого рассеяния, бинарной и инклюзивной перезарядки, с учетом взаимного экранирования цветов кварков.

Апробация и публикации. Диссертация написана на основе научных работ, выполненных с участием автора в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ в период с 1977 по 1987 гг. Изложенные в ней материалы докладывались на рабочих совещаниях сотрудничества ГИПЕРОН, научных семинарах Лаборатории ядерных проблем и Лаборатории высоких энергий ОИЯИ, заседаниях специализированных комитетов и сессиях Ученого совета ОИЯИ, а также на XIII международной конференции по физике высоких энергий (Беркли, 1986). По результатам диссертации опубликовано 6 работ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Работа изложена на 78 страницах, включая 28 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы, кратко охарактеризованы современные представления о пространственно-временной структуре адрон-адронных и адрон-ядерных столкновений при высоких энергиях. Показано, что экспериментальные данные по отношениям дифференциальных сечений реакций с небольшой передачей импульса, идущих на свободном нуклоне и на атомном ядре, могут служить источником информации о свойствах взаимодействия и являются чувствительными к предсказаниям КХД о взаимном экранировании цветов кварков. Обоснован выбор для исследования процессов бинарной и инклюзивной перезарядки (1) и (2).

Первая глава содержит краткое описание пучкового спектрометра и спектрометра вторичных частиц установки ГИПЕРОН, расположенной на

18-м канале ускорителя ИФВЭ (Серпухов). Схема спектрометра вторичных частиц показана на рис. 1.

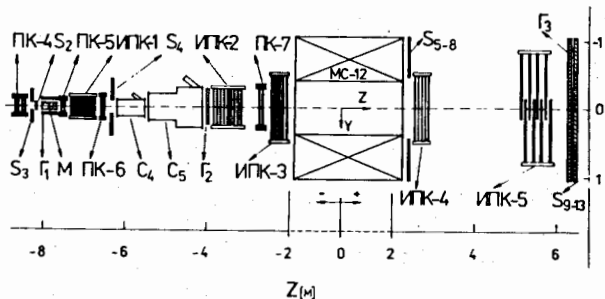


Рис. 1. Спектрометр вторичных частиц установки ИШЕРОН.

Для идентификации реакций (I) использовался метод недостающих масс. Рассмотрены основные условия эксперимента, система запуска установки; кратко описаны методы, обеспечившие достижение высокого разрешения по недостающей массе ($\ll 60$ МэВ) и углам вылета частиц ($\ll 0,3$ мрад).

Далее рассматривается процедура обработки статистического материала. Основное внимание уделено специфическим аспектам выделения процессов квазибинарной перезарядки на углеродной мишени, в качестве которой нами был использован мониторный сцинтилляционный счетчик, расположенный непосредственно перед дейтериевой мишенью. Распределения событий по квадрату недостающей массы в реакциях (Ia) и (Iб) представлены на рис. 2, рис. 3. В каждом из этих двух распределений четко выделен пик, соответствующий рождению Λ -, Σ^0 - и Σ^+ -гиперонов.

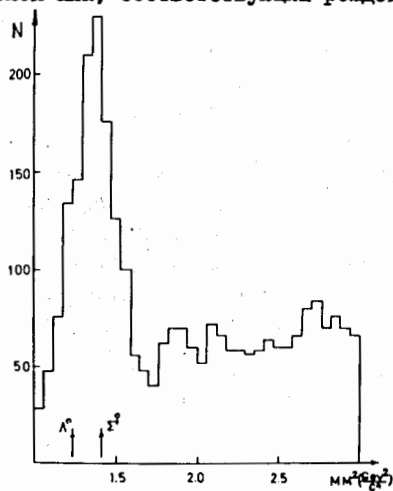


Рис. 2. Распределение событий по квадрату недостающей массы в реакции $\pi^+D \rightarrow K^+Y N$.

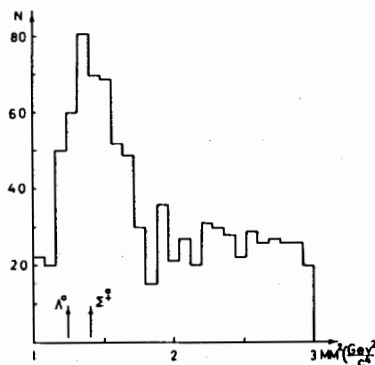


Рис. 3. Распределение событий по квадрату недостающей массы в реакции $\pi^+C \rightarrow K^+YA'$.

В заключительной части первой главы приведены экспериментальные результаты:

отношения дифференциальных сечений

$$R(t) \equiv \frac{1}{2} A_{eff}(t) = \frac{d\sigma/dt(\pi^+C \rightarrow K^+YA')}{d\sigma/dt(\pi^+D \rightarrow K^+YN)}$$

($Y = \Lambda, \Sigma^0, \Sigma^+$) при $|t| \leq 0,4$ (ГэВ/с)² (рис. 4);

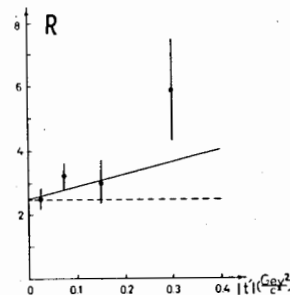


Рис. 4. Отношение дифференциальных сечений $R(t)$. Пунктир – расчет по модели Глаубера, сплошная линия – расчет по КХД-модели с учетом эффектов экранирования цвета (Korelovich B.Z., Zakharov V.G., JINR Prepr. E2-86-707, Dubna, 1986).

дифференциальные сечения реакций $\pi^+n \rightarrow K^+\Lambda$ и $\pi^+n \rightarrow K^+\Sigma^0$ в той же области переданных импульсов при энергии 10,3 ГэВ (рис. 5). Ранее эти реакции изучались лишь при энергиях до 5,1 ГэВ.

Во второй главе рассмотрен модифицированный вариант экспериментальной установки, дополненной набором пропорциональных камер и гodosкопическим черенковским детектором электромагнитных ливней из свинцового стекла (ЛГД) для регистрации гамма-квантов от распадов η -мезонов, образующихся в реакциях (2). ЛГД с апертурой 70x90 см и с размером ячейки 10x10 см снабжен активным конвертором (АК) толщиной

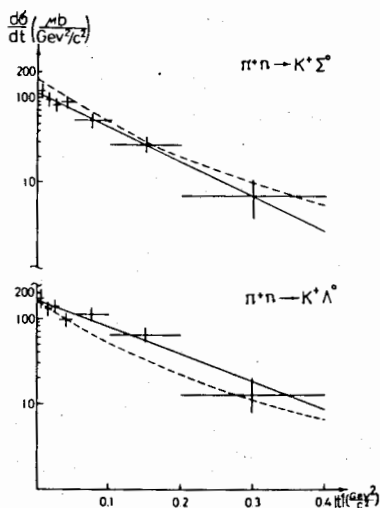


Рис. 5. Дифференциальные сечения $d\sigma/dt$ процессов $\pi^+n \rightarrow K^+\Sigma^0$ и $\pi^+n \rightarrow K^+\Lambda^0$ при 10,3 ГэВ/с. Сплошные линии - аппроксимация экспоненциальной зависимостью, пунктир - предсказание квазиэikonальной модели (Аракелян Г.Г. и др., ЯФ, 1983, т.38, с.1525).

6 см (2,5 рад·ед.). Использование АК позволило эффективно (на уровне $5 \cdot 10^{-3}$) дискриминировать сигналы от адронов по сравнению с электронными (позитронными). Схема установки показана на рис. 6.

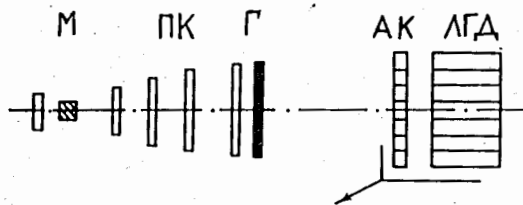


Рис. 6. Установка для исследования инклюзивных процессов перезарядки $\pi^+ \rightarrow \eta$.

Изложена процедура калибровки детектора и методика слежения за дрейфом спектрометрических каналов. Описаны алгоритмы восстановления энергий и координат стволов электромагнитных ливней, ориентированные на выбранную конструкцию ЛГД.

Представлены экспериментальные данные по отношениям дифференциальных сечений инклюзивного образования η -мезонов на различных мишенях (рис. 7 и 8):

$$R_{D/p}(x) = d\sigma/dx(\pi^+D \rightarrow \eta X) / d\sigma/dx(\pi^+p \rightarrow \eta X)$$

$$R_A(x) = d\sigma/dx(\pi^+A \rightarrow \eta X) / d\sigma/dx(\pi^+D \rightarrow \eta X)$$

при $x \gg 0,6$ и в интервале поперечных импульсов $p_t \leq 0,8$ ГэВ/с.

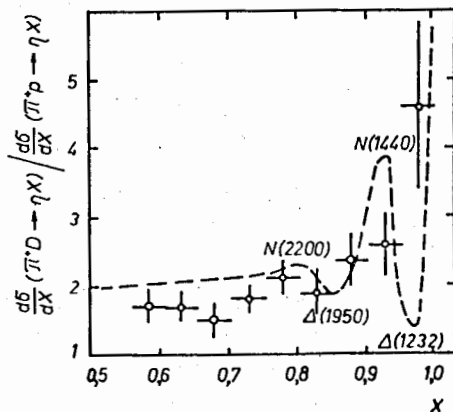


Рис. 7. Отношение дифференциальных сечений $R_{D/p}(x) = d\sigma/dx(\pi^+D \rightarrow \eta X) / d\sigma/dx(\pi^+p \rightarrow \eta X)$ при 10,5 ГэВ/с. Кривая - теоретический расчет с учетом возбуждения барионных резонансов.

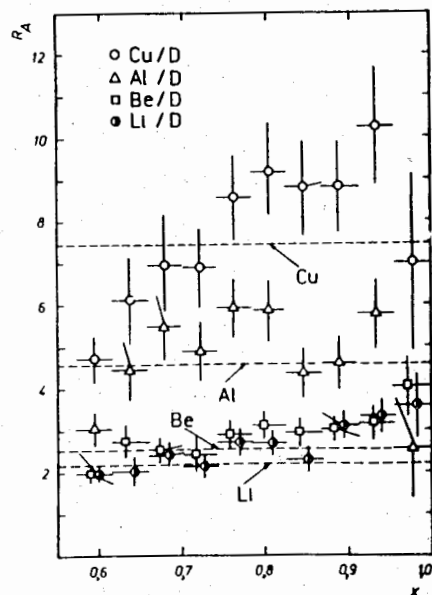


Рис. 8. Относительные выходы η -мезонов $R_A(x) = d\sigma/dx(\pi^+A \rightarrow \eta X) / d\sigma/dx(\pi^+D \rightarrow \eta X)$ при 10,5 ГэВ/с для ядер Li, Be, Al, Cu . Пунктирные линии - расчет в глауберовском приближении.

Третья глава посвящена интерпретации полученных результатов. Рассмотрена А-зависимость процессов упругого рассеяния и бинарной перезарядки. Показано, что учет экранирования цвета для таких реакций приводит к существенным отклонениям А-зависимости сечения взаимодействия от предсказаний модели Глаубера. Отмечается согласие данных по $A_{eff}(t)$ с теоретическим расчетом (Kopeliovich В.З., Zakharov

В.Г., JINR Preprint E2-86-707, Dubna, 1986), что свидетельствует в пользу предсказываемой в КХД зависимости сечения взаимодействия адрона от его размера (см. рис. 4).

В результате анализа зависимости $R_{Cu}(x)$ показано, что длина формирования лидирующего адрона в реакциях (2) при энергии 10 ГэВ не превышает среднего межнуклонного расстояния в ядре и ее можно пренебречь.

Далее в третьей главе рассматриваются основные кварковые диаграммы для процессов инклюзивной перезарядки (рис. 9 и 10).

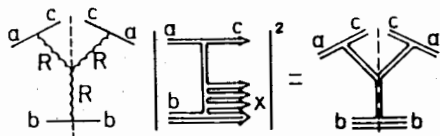


Рис. 9. RRR-график для процесса инклюзивной перезарядки.

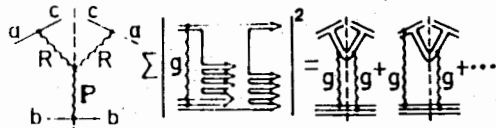


Рис. 10. RRP-график для процесса инклюзивной перезарядки.

Показано, что эффекты взаимного экранирования цвета кварков приводят к различной A -зависимости для основных трехреджеонных графиков RRR и RRP. Учет экранирования позволяет объяснить обнаруженный "аномальный" (по сравнению с глауберовским приближением) рост зависимости эффективного числа нуклонов $R_A(x)$ при $X \rightarrow 1$ в реакциях $\pi^+A \rightarrow \eta X$. Результаты соответствующих расчетов показаны на рис. II.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации.

I. Измерены дифференциальные сечения $d\sigma/dt$ процессов $\pi^+n \rightarrow K^+\Lambda$ и $\pi^+n \rightarrow K^+\Sigma^0$ для $|t| \leq 0,4$ (ГэВ/с)² при импульсе пучка 10,3 ГэВ/с. Ранее эти реакции при энергиях выше 5,1 ГэВ не исследовались. Впервые определено эффективное число нуклонов в ядре $A_{eff}(t)$ в зависимости от переданного импульса для реакций квазибинарной перезарядки.

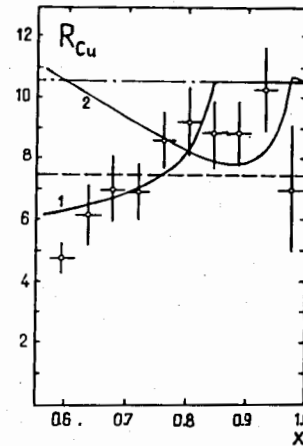


Рис. II. Варианты расчета $R_{Cu}(x)$: пунктир – модель Глаубера; штрихпунктирная линия – вклад графика RRP; кривая 1 – расчет с учетом вкладов обоих графиков; кривая 2 – предсказание для $R_{Cu}(x)$ при энергии взаимодействия 40 ГэВ.

2. Создан годоскопический калориметр электромагнитных ливней с апертурой 70x90 см, включающий 62-канальный черенковский детектор полного поглощения и активный конвертор. Разработан комплекс программного обеспечения, обеспечивший все этапы обработки экспериментальных данных с установки ГИПЕРОН, включающей как ЛПД, так и трековые детекторы.

3. Впервые измерены отношения дифференциальных сечений инклюзивного образования η -мезонов в π^+p -, π^+D - и π^+A -соударениях ($A = Li, Be, Al, Cu$) при импульсе пучка 10,5 ГэВ/с в области фрагментации пучка ($0,6 \leq X \leq 1$; $0 \leq p_t \leq 0,8$ ГэВ/с):

$$R_{D/p}(x) = d\sigma/dx(\pi^+D \rightarrow \eta X) / d\sigma/dx(\pi^+p \rightarrow \eta X)$$

$$R_A(x) = d\sigma/dx(\pi^+A \rightarrow \eta X) / d\sigma/dx(\pi^+D \rightarrow \eta X).$$

Обнаружена растущая зависимость $R_A(x)$, которая не может быть объяснена в рамках ранее существовавших теоретических моделей.

4. Исследованы эффекты экранирования цвета в реакциях квазиупругого рассеяния и квазисвободной перезарядки на атомных ядрах и установлены новые закономерности:

- экранирование цвета в квазиупругом рассеянии на ядрах приводит к более сильному "затемнению" ядра по сравнению с глауберовским приближением;
- в реакциях квазибинарной перезарядки учет экранировок, наоборот, ведет к меньшему поглощению начального и конечного адронов в ядерной материи.

5. Предсказание модели цветных струн для t -зависимости эффективного числа нуклонов $A_{eff}(t)$ в реакциях квазибинарной перезарядки $\pi^+C \rightarrow K^+YA'$ находится в соответствии с результатами эксперимента. Однако достигнутая точность измерений не позволяет исключить также и зависимость $A_{eff} = const$, соответствующую модели Глаубера.

6. Выдвинута новая КХД-интерпретация основных трехреджеонных графиков RRR и RRP , отвечающих реакциям инклюзивной перезарядки. Эта интерпретация позволяет объяснить обнаруженную нами нетривиальную зависимость $R_A(x)$ относительных выходов η -мезонов во взаимодействиях π^+ -мезонов с нуклонами и атомными ядрами при 10,5 ГэВ/с, которая не может быть удовлетворительно описана в рамках других теоретических подходов. Получено предсказание для $R_A(x)$ при энергии взаимодействия 40 ГэВ.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Маниев В.М., Русакович Н.А. Геометрическая эффективность регистрации событий в эксперименте по изучению реакций с обменом гиперзарядом на установке ГИПЕРОН. - Дубна, 1984. - 6 с. (Сообщение/Объед. ин-т ядерн. исслед., I-84-423).
2. Bitsadze G.S., ..., Russakovich N.A. et al. Differential cross sections for reactions $\pi^+n \rightarrow K^+\Sigma^0$ and $\pi^+n \rightarrow K^+\Lambda$ and ratio of differential cross sections for quasi-binary processes $\pi^+A \rightarrow K^+YA'$ on carbon and deuterium nuclei at 10.3 GeV/c. - Dubna, 1986. - 6 p. (Preprint/ Joint Institute for Nuclear Research: E1-86-780).
3. Бицадзе Г.С., ..., Русакович Н.А. и др. Характеристики годоскопического электромагнитного калориметра с апертурой 2 м². - Дубна, 1986. - 12 с. (Препринт /Объед. ин-т ядерн. исслед.: I3-86-105).
4. Малюков С.Н., ..., Русакович Н.А. и др. Обработка данных в экспериментах с использованием ливневого годоскопического детектора с размером ячейки 10x10 см² установки ГИПЕРОН. - Дубна, 1986, - 10 с. (Сообщение / Объед. ин-т ядерн. исслед.: PI0-86-138).
5. Bitsadze G.S., ..., Russakovich N.A. et al. A-dependence of η -meson inclusive production at 10.5 GeV/c. Nucl.Phys.B, 1987, v. 279, p. 770-784.
6. Kopeliovich B.Z., Russakovich N.A. Colour screening effects in hadron production on nuclei in the triple regge region. - Dubna, 1986. - 12 p. (Preprint/Joint Inst.Nucl.Res.: E2-86-298).

Рукопись поступила в издательский отдел
30 июля 1987 года.