

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1-90-339

Л 646

ЛИТОВ
Леандр Борисов

УДК 539.1.074.4
539.171.12./ .6 539.126

**ИССЛЕДОВАНИЕ
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ
АДРОН-ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
В ПРОЦЕССАХ ИНКЛЮЗИВНОЙ ПЕРЕЗАРЯДКИ
 K^+ -МЕЗОНОВ НА ЯДРАХ ПРИ ЭНЕРГИИ 11,2 ГэВ**

Специальность: 01.04.16 - физика ядра
и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1990

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем
Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:
доктор физико-математических наук,
профессор

Ю. А. Будагов

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук
доктор физико-математических наук

В. В. Глаголев
В. В. Соколовский

Ведущее научно-исследовательское учреждение:
Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова, г. Москва

Защита диссертации состоится " " _____ 1990 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 " " _____ 1990 г.

Учениый секретарь Специализированного Совета
доктор физико-математических наук

Ю. А. Батусов

Актуальность. Открытие кварк-партонной структуры адронов привело к тому, что их взаимодействие стало рассматриваться как сложный динамический процесс, протяженный в пространстве и времени. Размеры области, в которой происходит формирование конечного адронного состояния, могут превышать размер нуклона и при достаточно большой энергии взаимодействия становиться сравнимыми с размерами атомных ядер. Поэтому ядерную среду можно использовать как анализатор пространственно-временной картины процесса адронизации.

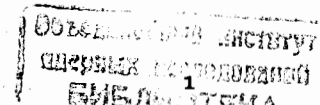
Исследование взаимодействий адронов высокой энергии с атомными ядрами, наряду с исследованием адрон-адронных столкновений, открывает новые возможности для изучения пространственно-временной картины формирования адронов, теоретическая интерпретация которой все еще весьма неоднозначна и во многих отношениях носит качественный характер.

Для того, чтобы сделать надежные выводы о динамике процесса, используя А-зависимость различных характеристик, необходимо специально подобрать реакцию и кинематическую область, где интересующие нас эффекты усилены. В частности, необходимо планомерное изучение при различных энергиях процессов инклюзивного рождения адронов в hA -соударениях при $x_F \rightarrow 1$.

Хотя попытки строгого описания мягких адронных процессов в квантовой хромодинамике (КХД) наталкиваются на нерешенную проблему больших расстояний, существуют различные феноменологические модели, использующие идеи КХД, которые при определенных упрощениях позволяют понять основные закономерности этих процессов. В настоящее время при описании процессов адрон-ядерного рассеяния остаются ряд нерешенных проблем, такие как:

- неоднозначность в определении понятия длины формирования, связанная с тем, что адрон является композитным объектом;
- последовательный учет эффектов экранирования цвета внутри адронов и неупругих поправок к сечению поглощения адронов в ядре;
- учет поглощения кварка (или струны) в ядре.

Решение этих вопросов требует как дальнейшего развития теоретических представлений о пространственно-временной структуре адрон-ядерных взаимодействий, так и накопления новой экспериментальной информации.



Работа посвящена экспериментальному изучению процессов инклюзивной перезарядки K^+ - мезонов на ядрах:



при энергии 11,2 ГэВ в области фрагментации пучковой частицы, $x_f \geq 0.4$, и дальнейшему развитию теоретического описания пространственно-временной картины адрон-ядерных взаимодействий, учитывающему как эффекты экранирования цвета, так и неупругое рассеяние цветовой струны при образовании лидирующих адронов.

Цель работы - получение новых экспериментальных данных о мягких адрон-ядерных взаимодействиях при промежуточных энергиях, исследование эффектов цветовой прозрачности и закономерностей, обусловленных наличием времени формирования при образовании лидирующих частиц на ядрах, теоретическое описание пространственно-временной структуры адрон-ядерных взаимодействий.

Научная новизна. Впервые измерены дважды дифференциальные сечения инклюзивного образования K^0 - и K^{*0} - мезонов в процессе перезарядки K^+ -мезонов на ядрах при энергии 11,2 ГэВ. Исследована их A -зависимость.

Предложено теоретическое описание пространственно-временной структуры процесса рождения лидирующих адронов на ядрах с учетом эффектов, обусловленных экранированием цвета внутри адронов и наличием длины формирования. В рамках развитого подхода достигнуто удовлетворительное описание экспериментальных данных, охватывающее широкий класс адрон-ядерных реакций в области фрагментации пучка.

Практическая ценность. Разработан и внедрен в практику физического эксперимента новый способ изготовления легких и прочных фокусирующих зеркал прямоугольной формы с основой из быстротвердеющей пены. Произведенные этим способом зеркала используются в черенковских счетчиках, работающих в составе установки ГИПЕРОН.

Сконструирован и изготовлен широкоапертурный восьмиканальный пороговый черенковский счетчик. Анализ информации, полученной с его участием, показал эффективность его применения при изучении адрон-адронных и адрон-ядерных взаимодействий на установке ГИПЕРОН. Использование этого детектора сделало возможным получение новых

научных результатов, среди которых: измерение дважды дифференциальных сечений инклюзивной перезарядки K^+ -мезонов на ядрах, экспериментальное исследование процессов инклюзивного рождения псевдоскалярных и векторных мезонов в pp , pp и Kp взаимодействиях.

Физическая интерпретация пространственно-временной картины образования адронов, развитая в диссертации, проясняет роль эффектов экранирования цвета и длины формирования в адрон-адронных и адрон-ядерных взаимодействиях и будет полезна при планировании программы исследований динамики сильного взаимодействия при высоких энергиях.

Автор защищает

1. Результаты разработки, создания и исследования широкоапертурного восьмиканального газового порогового черенковского счетчика.

2. Результаты экспериментального исследования процессов инклюзивной перезарядки K^+ -мезонов на ядрах, выполненного с применением разработанной аппаратуры и созданного программного обеспечения.

3. Результаты теоретического исследования пространственно-временной структуры процесса адрон-ядерного взаимодействия с учетом цветовой прозрачности ядра и длины формирования вторичного адрона.

Апробация и публикации. Диссертация написана на основе научных работ, выполненных с участием автора в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ в период с 1983 по 1990 гг. Материалы, включенные в диссертацию, докладывались на рабочих совещаниях сотрудничества ГИПЕРОН, научных семинарах ЛЯП и ЛВЭ (ОИЯИ), ИФВЭ (Серпухов), Софийского Университета им. Климента Охридского (НРБ), на международной школе по физике ОИЯИ-ЦЕРН (Варна, НРБ, 1987 г.), а также на Европейской конференций по физике высоких энергий, (Уппсала, Швеция, 1987 г.). По результатам исследований, составляющих основу диссертации, опубликовано 7 работ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Работа изложена на 120 машинописных страницах, включая 31 рисунок и 7 таблиц. Библиографический список содержит 116 ссылок и включает 121 название.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы, кратко описаны современные представления о пространственно-временной структуре адрон-адронных и адрон-ядерных столкновений при высоких энергиях. Показано, что экспериментальное исследование отношений сечений образования адронов на ядре и на нуклонах может служить источником информации о свойствах взаимодействия и чувствительно к предсказаниям различных моделей. Сформулированы некоторые нерешенные проблемы описания адрон-ядерного рассеяния.

В первой главе дается описание пучкового спектрометра и спектрометра вторичных частиц установки ГИПЕРОН, расположенной на 18 канале ускорителя ИФВЭ (Серпухов). Схема спектрометра вторичных частиц показана на рис. 1.

Приводится новая технология изготовления легких и прочных зеркал с основой из быстротвердеющей пены. Описан широкоапертурный восьмиканальный газовый пороговый черенковский счетчик ζ_6 , включенный в состав спектрометра вторичных частиц. Конструкция счетчика схематично показана на рис. 2. Размеры счетчика 240x240x95 см³. Приведены результаты его испытаний на пучке. Разрешение по скорости составляет величину $\delta\beta/\beta = 3 \cdot 10^{-5}$. Распределения на рис. 3 иллюстрируют эффективность использования информации со счетчика при обработке части данных, полученных на установке ГИПЕРОН. Гистограмма 1

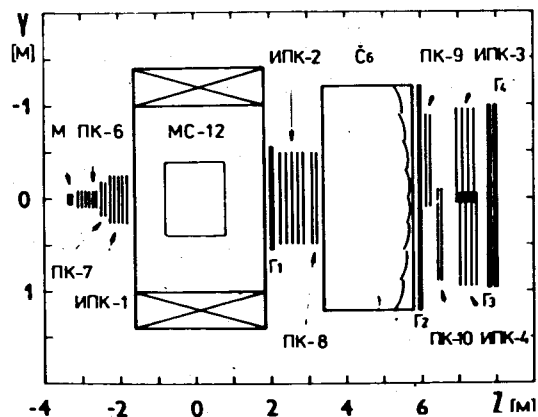


Рис. 1 Спектрометр вторичных частиц установки ГИПЕРОН

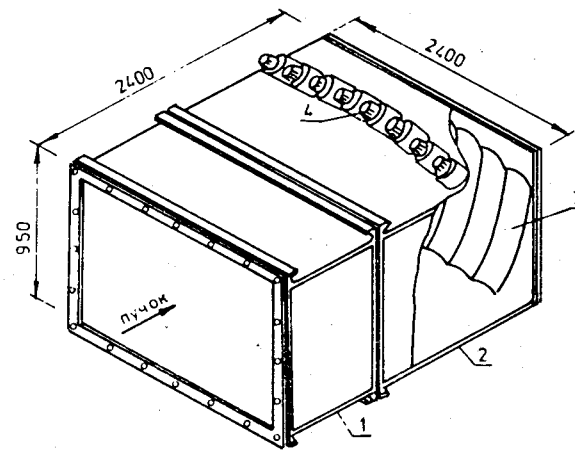


Рис. 2 Схема конструкции счетчика

получена без использования информации от счетчика. В гистограмму 2 вошли события, в которых соответствующая гипотеза подтвердилась счетчиком.

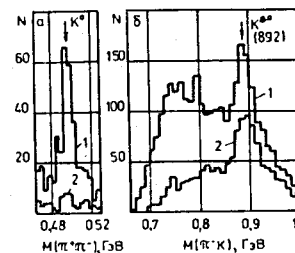


Рис. 3 Распределения событий реакций (1) и (2) по эффективной массе $M(h^+h^-)$ в предположении:
(а) $h^+h^- \equiv \pi^+\pi^-$
(б) $h^+h^- \equiv K^+K^-$

Во второй главе описываются общая схема обработки данных и основные алгоритмы, используемые для анализа экспериментальной информации, регистрируемой установкой ГИПЕРОН в экспериментах по исследованию процессов инклюзивного образования K^0 - и K^{*0} - мезонов в пучках различного кваркового состава (π, K, p) на водородной и ядерных мишенях.

Подробно описан алгоритм распознавания многотрековых событий. Показано, что данный алгоритм обеспечивает получение несмещенных значений масс частиц.

Обсуждаются методика и результаты определения эффективности регистрации событий на установке ГИПЕРОН. При вычислении геометрической эффективности (аксептанса) используется метод существенной выборки, что на порядок сокращает число событий, генерируемых при моделировании процессов методом Монте-Карло, без потери точности расчетов. На рис. 4 показан аксептанс для процессов (1) и (2).

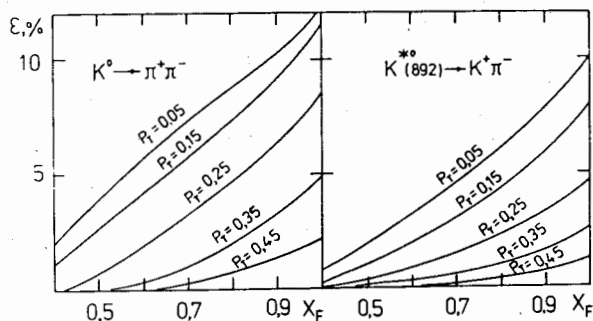


Рис. 4 Геометрическая эффективность для регистрации процессов (1) и (2)

Предложен метод определения эффективности спектрометра для исследования инклюзивных процессов типа $h^+ + A \rightarrow h^+ h^- + X$, который основывается на определении эффективности регистрации для топологически близкого процесса $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$. Определена эффективность трековых детекторов установки. При помощи 55000 восстановленных распадов $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$ получена полная эффективность установки, включающая в себя эффективности детекторов, триггера и алгоритмов обработки. На рис. 5 показан типичный спектр эффективных масс $M(\pi^+ \pi^+ \pi^-)$.

В третьей главе описываются постановка эксперимента и статистический анализ данных при изучении процессов (1) и (2). Представлены результаты экспериментального исследования инклюзивного образования K^0 - и $K^*(892)$ - мезонов в $K^+ A$ - взаимодействиях ($A = \text{Be, Cu, Pb}$) при энергии 11,2 ГэВ. Измерены дважды дифференциальные сечения $d^2\sigma/dx_f dp_t^2$ в области фрагментации налетающей частицы ($0,4 \leq x_f \leq 1$) и $p_t < 0,5$ ГэВ/с. Полученные сечения показаны на рис. 6 для реакции (1) и на рис. 7 для реакции (2). Обсуждается их A -зависимость. Отношения сечений на различных ядрах показывают слабую тенденцию к уменьшению с ростом x_f и не зависят от p_t . Отношения

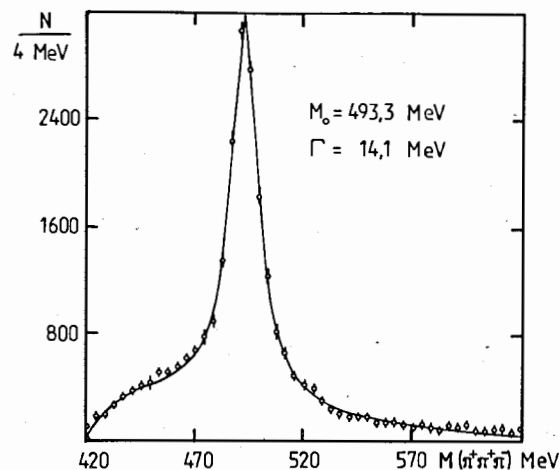


Рис. 5 Типичный спектр эффективных масс системы $\pi^+ \pi^+ \pi^-$

инвариантных сечений $F(x_f)$ для реакций с образованием $K^*(892)$ - и K^0 - мезонов на различных ядрах не зависят от атомного номера ядра и растут при $x_f \rightarrow 1$.

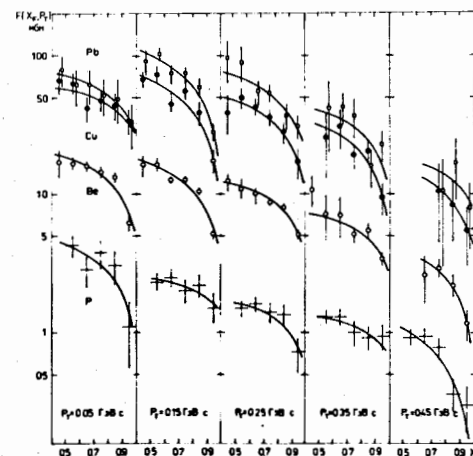


Рис. 6 Дважды дифференциальные инвариантные сечения $F(x_f, p_t)$ для реакции (1)

В четвертой главе предложено описание инклюзивных адрон-ядерных взаимодействий и их пространственно-временной структуры. Обсуждаются неупругие поправки к эйкональному приближению и метод собственных

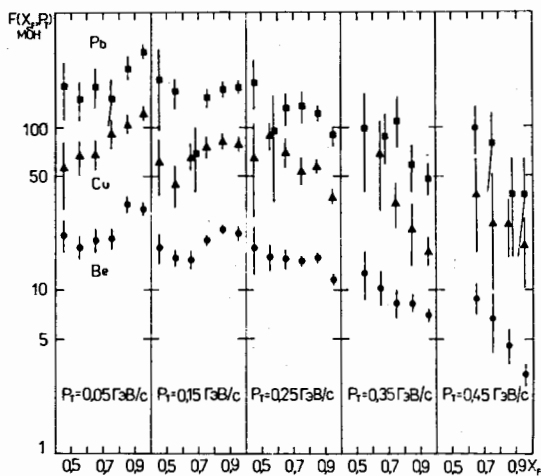


Рис. 7 Дважды дифференциальные инвариантные сечения $F(x_f, p_f)$ для реакции (2)

состояний. Введена параметризация зависимости полных адрон-адронных сечений от среднеквадратичного радиуса адрона, учитывающая экранирование цвета кварков. При ее помощи описаны полные нейтрон-ядерные сечения (рис. 8). Из экспериментальных данных получена оценка для поперечного размера цветовой струны $\rho_0 = 0,1$ fm.

В дальнейшем обсуждаются длина формирования лидирующих адронов и взаимодействие струны внутри ядра. Показано, что последнее приводит к изменению вероятности рождения адрона.

Проводится анализ различных механизмов образования лидирующих частиц в адрон-ядерных взаимодействиях. Получены выражения для

дифференциальных сечений, учитывающие влияние экранирования цвета внутри адронов, взаимодействия струны в ядре и эффекты, обусловленные наличием длины формирования адронов.

В рамках развитого подхода проведен анализ процессов инклюзивного образования адронов в адрон - ядерных взаимодействиях ($\pi^+ A \rightarrow \pi^+ X$, $pA \rightarrow pX$, $nA \rightarrow nX$, $\Lambda A \rightarrow \Lambda X$, $K^+ A \rightarrow K^+ X$) при различных энергиях первичного адрона (10 - 400 ГэВ). Получено удовлетворительное описание экспериментальных данных. На рис. 9 теоретические предсказания сравниваются с экспериментальными данными для процесса $pA \rightarrow pX$ при энергии 100 ГэВ. На рис. 10 приведены наши данные для процессов (1) и (2) вместе с результатами расчетов. Оценен коэффициент натяжения цветовой струны κ .

Рис. 9 Результаты расчета $d\sigma^A/dx_f$ для реакции $pA \rightarrow pX$ при энергии 100 ГэВ/с

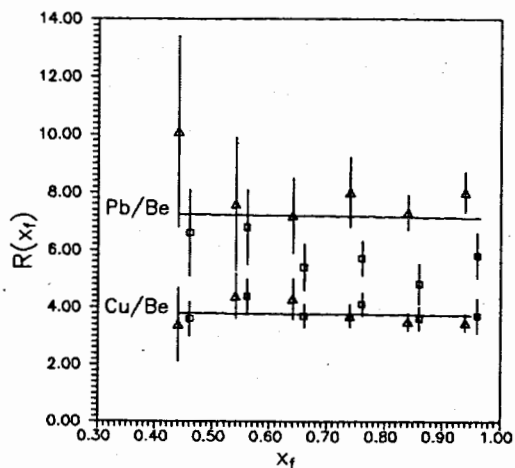
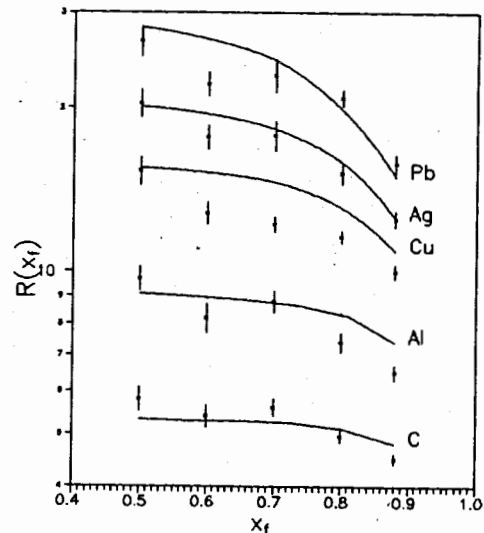


Рис. 10 Отношения сечений $R(\text{Pb/Be})$ и $R(\text{Cu/Be})$ для реакций (1) () и (2) ()
Кривая - результат теоретического расчета

В заключении сформулированы основные результаты диссертации.

1. Разработан и внедрен в практику физического эксперимента новый способ изготовления легких и прочных фокусирующих зеркал прямоугольной формы с основой из быстротвердеющей пены - пенополиуретана ППУ-ЗС. Многолетний опыт использования этих зеркал в черенковских счетчиках показал стабильность во времени их высоких фокусирующих и светоотражающих свойств.

2. Сконструирован и изготовлен широкоапертурный восьмиканальный пороговый черенковский счетчик. Достигнутые значения параметра $N_0 = 90 \text{ см}^{-1}$ и соответствующее разрешение по скорости $\Delta\beta/\beta = 2,8 \cdot 10^{-5}$ находятся на уровне параметров лучших приборов подобного типа. Счетчик включен в состав установки ГИПЕРОН; анализ информации, полученной с его участием, показал эффективность его применения при изучении многочастичных процессов.

3. Создан эффективный алгоритм вычисления аксептанса регистрации событий на установке ГИПЕРОН.

4. Предложен и реализован метод определения эффективности спектрометра для исследования инклюзивных процессов типа $h^+A \rightarrow h^+h^-+X$. Метод основывается на определении эффективности регистрации для топологически близкого процесса $K^+ \rightarrow \pi^+\pi^+\pi^-$.

5. Впервые измерены дважды дифференциальные сечения инклюзивного образования K^0 - и K^{*0} - мезонов в процессе перезарядки K^+ -мезонов на ядрах при энергии 11,2 ГэВ. Исследована их A -зависимость.

6. Предложена параметризация зависимости полных адрон-адронных сечений от среднеквадратичного радиуса адрона. При ее помощи описаны полные нейтрон-ядерные сечения. Из экспериментальных данных получена оценка поперечного размера цветовой струны $\rho_0 = 0,1 \text{ fm}$.

7. Описана пространственно-временная структура процесса адронизации, хронология образования адронов при высоких энергиях. Развита модель взаимодействия адронов с ядрами.

8. На основе анализа процессов инклюзивного образования адронов в адрон-ядерных взаимодействиях ($\pi^+A \rightarrow \pi^+X$, $pA \rightarrow p+X$, $\pi A \rightarrow p+X$, $pA \rightarrow \Lambda+X$, $K^+A \rightarrow K^0+X$) при различных энергиях первичного адрона (10 - 400 ГэВ) оценен коэффициент натяжения цветовой струны $\kappa = 3 \text{ ГэВ/fm}$.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Бицадзе Г. С., ..., Литов Л. и др., "Восьмиканальный газовый пороговый черенковский счетчик", ПТЭ, 1986, т.3, с. 81-84.
2. Будагов Ю. А., ..., Литов Л. и др., "Фокусирующие зеркала с основой из быстротвердеющей пены", ПТЭ, 1987, т.3, с.211-212.
3. Виноградов В. Б., ..., Литов Л. и др., "Анализ информации с установки ГИПЕРОН в эксперименте по исследованию инклюзивного образования K^0 - и $K^{*0}(892)$ -мезонов", Сообщение ОИЯИ, P10-90-83, Дубна, 1990.
4. Виноградов В.Б., ..., Литов Л. и др., "Эффективность регистрации событий на установке ГИПЕРОН в эксперименте по изучению инклюзивного рождения странных псевдоскалярных и векторных мезонов", Сообщение ОИЯИ, P10-90-230, Дубна, 1990.
5. Акименко С.А., ..., Литов Л. и др., "Исследование инклюзивного образования K^0 -мезонов в K^+A -взаимодействиях при 11, 2 ГэВ", Препринт ИФВЭ, 90-10, Серпухов, 1990.
6. Акименко С.А., ..., Литов Л. и др., "Исследование инклюзивного образования $K^{*0}(892)$ -мезонов в K^+A -взаимодействиях при 11,2 ГэВ", Препринт ИФВЭ, 90-31, Серпухов, 1990.
7. Kopeliovich B.Z., Litov L., Nemchic J., "Colour-transparency effects and formation time in the production of leading particles on nucleus", Preprint / Joint Inst.Nucl.Res.: E2-90-344, Dubna, 1990.

Рукопись поступила в издательский отдел
21 мая 1990 года.