



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2-99-29

УДК 539.171.016+018

С - 29

СЕЛЮГИН
Олег Викторович

**СТРУКТУРА ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ АМПЛИТУДЫ
УПРУГОГО АДРОН-АДРОННОГО РАССЕЯНИЯ
В ДИФРАКЦИОННОЙ ОБЛАСТИ**

Специальность: 01.04.02 — теоретическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук

Дубна 1999

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики
им. Н.Н. Боголюбова
Объединенного института ядерных исследований.

Официальные оппоненты:

Доктор физико-математических наук, профессор	А.В. Ефремов
Доктор физико-математических наук, профессор	В.И. Саврин
Доктор физико-математических наук, профессор	В.А. Царев

Ведущее научно-исследовательское учреждение:
Институт физики высоких энергий, г. Протвино.

Защита диссертации состоится "____" _____ " 1999 г. на заседании диссертационного совета Д047.01.01 при Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан "____" _____ " 1999 г.

Актуальность проблемы

Полученные в рамках релятивистской теории поля асимптотические теоремы в основном связаны с областью больших расстояний и малых передач импульса. Структура и энергетическая зависимость амплитуды рассеяния определяется такими фундаментальными принципами как релятивистская инвариантность, унитарность, полиномиальная ограниченность, кроссинг-симметрия [1].

Следствием причинности и локальности взаимодействий являются дисперсионные соотношения. Эти соотношения устанавливают связь между мнимой и вещественной частями амплитуды рассеяния. Отклонения от этих соотношений могут означать нарушение локальности взаимодействия и, как отмечено в работах [2], дать нижнюю оценку этого нарушения уже при энергиях ЛНС.

На начальном этапе исследования взаимодействия адронов в ГэВ-ной области энергий (20-200 ГэВ) основной объем экспериментальной информации подтвердил справедливость дисперсионных соотношений и ряда теорем о поведении амплитуды рассеяния при ограниченных передачах импульса [3, 4]. Использование идеи о гладкости локального квазипотенциала позволило в рамках квазипотенциального метода дать качественное объяснение широкому спектру наблюдаемых закономерностей процессов сильного взаимодействия адронов при высоких энергиях [5].

Однако дальнейший переход в область (200-2000 ГэВ) и увеличение точности эксперимента сопровождался возникновением ряда серьезных проблем, отражающих наличие противоречий как между теоретическими предсказаниями, основанными на базовых теоретических представлениях и предыдущих экспериментальных результатах, и новой экспериментальной информацией (UA4, CDF, E760) так и между различными экспериментами (UA4 и UA4/2, CDF и E710). Повышение точности экспериментальных данных выявило возможное существование ряда новых эффектов в упругом рассеянии адронов, требующих своего теоретического объяснения [6]. Особую роль приобретает исследование спиновой

Ученый секретарь совета
кандидат физико-математических наук


В.И. Журавлев

структуры упругой амплитуды адронного высокоэнергетического рассеяния и эффектов кулон-адронной интерференции [7].

Накопленная экспериментальная информация о дифракционных процессах в области высоких энергий богата, но не достаточна для безмодельной реконструкции полной структуры амплитуды рассеяния. Более того, большинство так называемых экспериментальных значений таких основных характеристик, как полные сечения, отношение вещественной части амплитуды рассеяния к ее мнимой части, наклон амплитуды рассеяния, могут достаточно сильно зависеть от теоретических предположений [8]. Соответственно, возникает актуальная задача исследования зависимости получаемой информации от явно и неявно используемых, модельных предположений и разработка новых методов, минимально использующих модельные представления.

В настоящее время интерес к дифракционным явлениям снова резко возрос в связи с обнаружением вкладов дифракционных процессов в неупругие реакции. Существенно важным вопросом для дифракционных явлений в упругих и неупругих реакциях является величина и энергетическая зависимость амплитуд с переворотом спина [9]. Пертурбативная квантовая хромодинамика, в рамках которой были предложены идеи о "жестком" помероне [10], не имеет в настоящее время соответствующих подходов для количественных расчетов "мягких" дифракционных процессов. Привлекаемые же различные непертурбативные методы нуждаются в дополнительной информации о структуре и энергетической зависимости амплитуды дифракционных процессов, особенно в области малых углов рассеяния.

Цель диссертационной работы

Основная цель диссертации - определение структуры амплитуды высокоэнергетического адрон-адронного рассеяния, исследование ее энергетического поведения и проявления возможных асимптотических эффектов, для чего требовалось решить следующие задачи:

- провести последовательный учет периферических вкладов и спиновой

структуры в померон-адронных вершинах в рамках динамической модели с учетом N и Δ -изобарных вкладов в s -канале и сильных форм-факторов взаимодействующих адронов;

- на этой основе провести исследование влияния различных частей амплитуды рассеяния на величину спиновых эффектов и сделать модельный анализ будущих экспериментов по поляризационным исследованиям высокоэнергетического рассеяния адронов;
- исследовать характеристики померонного обмена и влияние структуры кварк-померонной вершины на спиновые эффекты при высоких энергиях;
- вычислить фазу кулон-ядерной интерференции в широкой области переданного импульса;
- исследовать влияние явных и неявных модельных предположений при обработке экспериментальных данных и провести корректный анализ наиболее точных данных (эксперимент коллаборации UA4/2);
- предложить новые идеи и методы для получения основных характеристик амплитуды рассеяния из экспериментальной информации.

Научная новизна работы.

Проведен единый последовательный учет периферического высокоэнергетического взаимодействия адронов с учетом N , Δ -изобарных вкладов в промежуточном s -канальном состоянии, спинов взаимодействующих частиц и их сильных форм-факторов для упругих нуклон-нуклонных, мезон-нуклонных реакций и реакции перезарядки. На этой основе впервые изучена подробная структура амплитуды рассеяния в широкой области переданного импульса и энергетическом интервале энергии взаимодействия.

Полученная структура амплитуды рассеяния позволила оценить гипотезы о поведении и взаимном соотношении различных частей амплитуды рассеяния,

оценить вклад адронной амплитуды с переворотом спина в кулон-ядерную интерференцию.

Впервые вычислены кулоновская фаза и кулон-ядерная фаза во втором борновском приближении с учетом адронного форм-фактора и в широкой области переданного момента.

Корректный последовательный анализ различных методик выделения информации из экспериментальных данных впервые показал существенно модельно-зависимый характер получаемой информации. Показано, что имеется модельная зависимость ряда, так называемых, "экспериментальных" данных и, соответственно, требуется более корректный анализ полученной экспериментальной информации.

Предложены ряд новых методик для анализа экспериментальной информации максимально возможным модельно-независимым образом.

Впервые обнаружены новые физические эффекты: уменьшение наклона дифференциальных сечений в области малых передач импульса, наличие периодической составляющей по $\sqrt{|t|}$ в амплитуде протон-протонного рассеяния; получены оценки величины новых физических эффектов для будущего поколения ускорителей.

Научно - практическое значение результатов работы.

Исследование структуры амплитуды рассеяния позволило впервые, привлекая максимально возможный экспериментальный материал, оценить вклад и энергетическую зависимость адронной амплитуды с переворотом спина в кулон-адронную интерференцию, предложить новую методику оценки этого вклада из экспериментальной информации при плохом знании поляризации пучка. Все это необходимо и актуально для разработки кулон-ядерного интерферометра по измерению поляризации пучка при высоких энергиях на HERA-N и RHIC.

Полученные предсказания для большого ряда физических эффектов необходимы для планирования и проведения экспериментов на ускорителях будущего поколения, они нашли свое отражение в ряде физических программ на RHIC и LHC (STAR, FELIX; TOTEM).

Полученная структура высокоэнергетической амплитуды рассеяния представляет важную информацию для различных полу-феноменологических, решеточных и строгих расчетов в квантовой хромодинамике.

Апробация работы и публикации.

Основные материалы, результаты и выводы диссертации докладывались на международных конференциях, симпозиумах, рабочих совещаниях: Int. Workshop, "Physics at UNK", Протвино (1989); III, IV, V, VI, VII Intern. Workshops on "High energy spin physics", Протвино (1991,1993,1995); Дубна (1997); Intern. Workshops on High energy spin physics" Prague (1997); Intern. Workshops on soft physics "Strong Interaction at large distances", Uzhgorod (1994); "Hadrons-95: Diffraction" Novy Svet (1995); "Hadrons-96: Confinement" Crimea (1996); Intern. Conferences "Frontiers in Strong Interactions" Blois (1995); "Elastic and Diffraction Interactions" Seoul (1997); "High Energy Spin Physics" Amsterdam (1996). Кроме того, работы обсуждались на сессиях ОЯФ АН, на семинарах БЛТФ, ЛВЭ-ЛСВЭ ОИЯИ, ИЯИ РАН, ИФВЭ, МИФИ, ИЯФ МГУ, LPTPE Universite P. & M. Curie (Paris) (1995, 1996, 1998 гг.), DPhTh IPhN Orsay (1995,1996 гг.), INPh Lyon (1998).

Публикации

Основное содержание диссертации отражено в 36 публикациях, список которых приведен в настоящем реферате.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, шести глав и заключения. Содержит 236 страниц текста, включая 61 рисунок и 22 таблицы. Список цитируемой литературы содержит 256 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении содержится краткая информация о рассматриваемой проблематике, обосновывается актуальность исследований и раскрывается содержание темы диссертации, формулируется цель работы, ее новизна и научно-практическая ценность, представлен план диссертации.

В первой главе диссертации развивается высокоэнергетическая динамическая модель адрон-адронного рассеяния с учетом взаимодействия на больших расстояниях. Соответствующая амплитуда рассеяния содержит часть, определяемую спин независимым взаимодействием с феноменологическими параметрами центральных частей адронов, и амплитуду, определяемую взаимодействием на больших расстояниях, где основной вклад дают треугольные диаграммы с обменом π -мезонами в t -канале. При этом проведен последовательный учет N и Δ -изобарного состояний в промежуточном s -канале и сильных форм-факторов взаимодействующих адронов. Для амплитуды с периферическим взаимодействием получено представление в виде

$$T_N^{\lambda_1 \lambda_2}(s, t) = i\beta^{N(\lambda_1 \lambda_2)}(t) \cdot \beta m(t) s^{\alpha(t)}, \quad (1)$$

где $\beta^{N(\lambda_1 \lambda_2)}(t)$ может представлять нуклонный или изобарный вклад в спин-зависимую нуклон-померонную вершину, а $\beta m(t) s^{\alpha(t)}$ стандартную спин-независимую адронную вершину с сильным форм-фактором. Это означает факторизацию амплитуды рассеяния на спин-зависимую адрон-померонную вершинную функцию и обычный высокоэнергетический померон, что соответствует подобной факторизации, получаемой в рамках КХД [11]

Особую роль подобный механизм имеет при исследовании спиновой структуры амплитуды рассеяния различных дифракционных реакций. Исследования треугольных диаграмм с мезонными составляющими [12, 13] показали, что амплитуды с изменением спиральности приобретают дополнительный фактор пропорциональный \sqrt{s} , что приводит к исчезающим спиновым эффектам в пределе высоких энергий. Вклад в амплитуду треугольных диаграмм с π -мезонными составляющими, например, нуклон нуклонного рассеяния с $N(\Delta)$ -

изобарой) в промежуточном s -состоянии можно представить следующим образом:

$$T_{N(\Delta)}^{\lambda_1 \lambda_2}(s, t) = \frac{g_{\pi NN(\Delta)}^2}{i(2\pi)^4} \int d^4 q T_{\pi N}(s', t) \varphi_{N(\Delta)}[(k-q), q^2] \varphi_{N(\Delta)}[(p-q), q^2] \frac{\Gamma^{\lambda_1 \lambda_2}(q, p, k, s)}{[q^2 - M_{N(\Delta)}^2 + i\epsilon][(k-q)^2 - \mu^2 + i\epsilon][(p-q)^2 - \mu^2 + i\epsilon]}. \quad (2)$$

Здесь λ_1, λ_2 - спиральности нуклонов, $T_{\pi N}$ - амплитуда πN -рассеяния, Γ - представляет матричную структуру числителя соответствующей диаграммы; $\varphi_{NN(\Delta)}$ вершинная функция, выбранная в дипольной форме с параметром $\beta_{N(\Delta)}$. На основе полученного представления для амплитуды рассеяния с учетом взаимодействия на больших расстояниях в диссертационной работе вычислены спиновые амплитуды мезон-нуклонного и нуклон-нуклонного упругого рассеяния. При этом проведен последовательный учет вкладов нуклона и Δ_{33} -изобарного состояния в s -канале, разность и сумма которых во многом определяют величину амплитуды с переворотом спина для упругих нуклон-нуклонных, мезон-нуклонных реакций и для реакции перезарядки, соответственно.

Учет сильных форм-факторов в соответствующих вершинах и предасимптотических вкладов позволил корректно описать в рамках единой модели дифференциальные сечения и спиновые эффекты упругих адрон-адронных реакций $\pi^{+-}N \rightarrow \pi^{+-}N$, $K^{+-}N \rightarrow K^{+-}N$, $NN \rightarrow NN$ и реакции перезарядки $\pi^-p \rightarrow \pi^0n$. Учет изотопических факторов приводит к следующим выражениям для амплитуд $\pi^{\pm}p$ взаимодействия:

$$T_0^{+-} = \frac{1}{2}(T^{\pi^+p} + T^{\pi^-p})_{\pm} = 3T_N^{+-} + 2T_{\Delta}^{+-},$$

$$T_{\pi^-p \rightarrow \pi^0n}^{+-} = \frac{1}{\sqrt{2}}(T^{\pi^+p} - T^{\pi^-p})_{+-} = 2\sqrt{2}T_N^{+-} - \frac{2\sqrt{2}}{3}T_{\Delta}^{+-}. \quad (3)$$

Следствием (3) является существенная компенсация вкладов N и Δ_{33} состояний в упругих процессах. В реакциях с обменом зарядом эти вклады складываются, что приводит к большой величине амплитуды с изменением спиральности в $\pi^-p \rightarrow \pi^0n$ взаимодействии (см. рис. 1.)

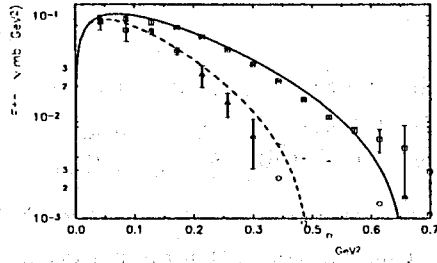


Рис. 1: $T_{\pi^- p \rightarrow \pi^0 n}^{+-}$ (сплошная линия - $Im T$; пунктирная - $Re T$) данные из [14]).

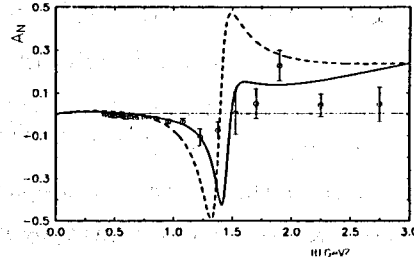


Рис. 2: A_N pp - и $\bar{p}p$ -рассеяния (сплошная и штриховая линия) - при $\sqrt{s} = 17$ ГэВ ; данные [15]).

Вычисленная в модели анализирующая способность для адрон-адронных реакций особенно велика в области резко-выраженного дифракционного минимума и остается достаточно значительной при больших передачах импульса (рис. 2).

Во второй главе рассматриваются следствия для pp - и $\bar{p}p$ -рассеяния, вытекающие из структуры амплитуды рассеяния, полученной в рамках разработанной модели. Так, рассмотрена зависимость различных физических эффектов от вещественной части амплитуды рассеяния без переворота спина. На основе модельного анализа амплитуды высокоэнергетического pp - и $\bar{p}p$ -рассеяния получено объяснение поведения дифференциальных сечений и поляризации в области дифракционной структуры.

Получены предсказания для ряда новых эффектов, зависящих от поведения вещественной части амплитуды рассеяния по t и s . Так, предсказывается эффект существенно разной поляризации в области дифракционного минимума для этих реакций при $p_L = 100$ ГэВ и приблизительно одинаковой поляризации при $p_L > 500$ ГэВ. Предсказываются достаточно большие спиновые эффекты при сверхвысоких энергиях, приблизительно одинаковые для протон-протонного и протон-антипротонного рассеяния.

Рассмотрена зависимость разных частей полученной амплитуды рассеяния от переданного импульса. Показано, что в области энергии рассеяния 2-ТэВ эйконал достигает своего унитарного предела на малых прицельных расстояниях (рис. 3.), что приводит к изменению динамики адронного взаимодействия.

Получены соответствующие предсказания для упругого pp -рассеяния при энергии ЛHC. В рамках модели показано, что положения на оси t нулей вещественной и мнимой частей амплитуды рассеяния, связанных с изменением знака этих амплитуд, сильно расходятся при росте энергии рассеяния, что ведет к заполнению дифракционного минимума при энергиях SPS. Однако при существенно больших энергиях положения этих нулей сдвигаются в область малых t , и они снова сближаются (рис.4.), что приведет к появлению дифракционного минимума в области сравнительно небольших передач импульса.

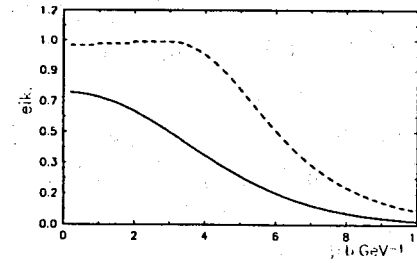


Рис. 3: Мнимая часть эйконала амплитуды без переворота спина (сплошная линия - при $\sqrt{s} = 53$ ГэВ; штриховая линия - при $\sqrt{s} = 14$ ТэВ.

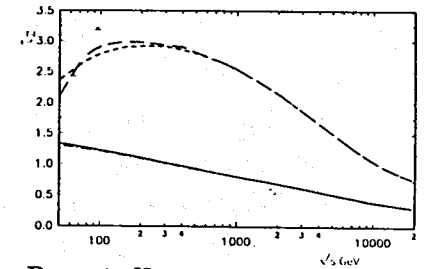


Рис. 4. Нули мнимой (сплошная pp и штрих-пунктирная $\bar{p}p$ -рассеяние) и вещественной части (штриховая pp и пунктирная $\bar{p}p$ линии) амплитуды без переворота спина.

Исследовано влияние существующего спин-зависимого померонного вклада на дифференциальные сечения с параллельными и антипараллельными спинами $\sigma(\uparrow\uparrow)$ и $\sigma(\uparrow\downarrow)$; вычислены их величины и зависимость от энергии рассеяния. Выполнена оценка возможных статистических ошибок для реального физического эксперимента в области энергии RHIC. Показано, что эффект спинового вклада

будет не мал и вполне измерим с достаточно малыми статистическими ошибками при передачах импульса $|t| \sim 2 \div 3$ (ГэВ)². Эти измерения способны дать информацию о связи померона и структуры адрон-адронной амплитуды рассеяния.

На базе анализа низко-энергетических экспериментальных данных с использованием феноменологической структуры амплитуды рассеяния, определенной в [16], получена амплитуда рассеяния, описывающая экспериментальные данные по поляризации в области сравнительно низких энергий рассеяния $6 \leq p_L \leq 200$ ГэВ/с. Получены энергетические зависимости отдельных частей амплитуды рассеяния при различных передачах импульса, например (см. рис. 5 и 6). Видно, что их поведение с передачей импульса имеет существенно разный характер для различных энергий. Это означает, что гипотезу о приблизительно одинаковом поведении спиральных амплитуд (без учета кинематических факторов) можно использовать только в очень узком интервале малых передач импульса и, соответственно, нельзя применять при анализе существующих экспериментальных данных поляризационных экспериментов, что делалось в ряде работ.

Полученные в диссертационной работе амплитуды позволили определить величину и энергетическую зависимость дополнительного вклада адронной амплитуды с переворотом спина в кулон-ядерную интерференцию, знание которого необходимо при проектировании интерферометра для измерения поляризации пучка.

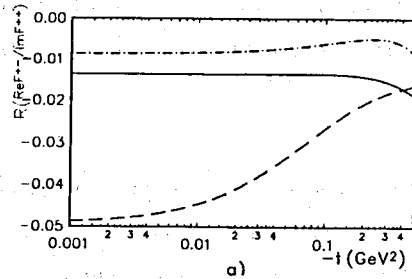
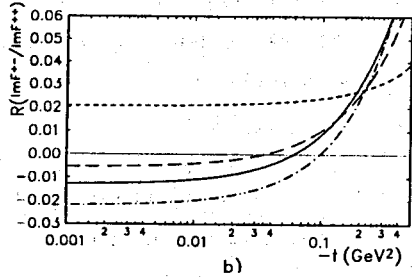


Рис. 5: Отношение $ReF^{+-}/\sqrt{|t|}$ к ImF^{++} . Рис. 6: Отношение $ImF^{+-}/\sqrt{|t|}$ к ImF^{++} .

В третьей главе диссертации в рамках эйконального приближения получена взаимно однозначная связь между значением эйкональной фазы при нулевых прицельных параметрах X и отношением упругих и полных сечений

σ_{el} и σ_{tot} :

$$\frac{\sigma_{el}}{\sigma_{tot}} = \frac{1}{2} \frac{[2T_1(X) - T_1(2X)] + b \cdot \mu [2T_2(X) - T_2(2X)]}{T_1(X) + b \cdot \mu T_2(X)}. \quad (4)$$

Здесь:

$$T_1(X) = - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-X)^n}{n^2 n!}; \quad T_2(X) = - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-X)^n}{n n!}, \quad (5)$$

а b и μ есть эффективный радиус и масса входящие в эйкональное представление амплитуды рассеяния. Основываясь на этих значениях X_i , можно получить интерсепт ε^B или степень логарифмического роста n^B ,

$$\varepsilon^B = \frac{\ln [X(s_1)/X(s_2)]}{\ln (s_1/s_2)} + \ln \left[\frac{1 + \gamma \ln (s_1)}{1 + \gamma \ln (s_2)} \right] / \ln (s_1/s_2), \quad (6)$$

$$n^B = \frac{\ln [X(s_1)/X(s_2)]}{\ln (\ln (s_1)/\ln (s_2))} + \ln \left[\frac{1 + \gamma \ln (s_1)}{1 + \gamma \ln (s_2)} \right] / \ln (\ln (s_1)/\ln (s_2)). \quad (7)$$

На основе анализа данных CDF коллаборации [17] был показан рост интерсепта померона в области энергий SPS по сравнению с областью энергий ISR. Было найдено, что интерсепт эйконализированного померона примерно в два раза меньше интерсепта затравочного померона, что, в принципе, дает возможность для согласования большого интерсепта получаемого в КХД расчетах с наблюдаемым на эксперименте. Показано, что данные CDF коллаборации по отношению упругих сечений к полным подтверждают большое полное сечение около 80 мб. при $\sqrt{s} = 1800$ ГэВ, полученное этой же коллаборацией, и противоречат значению $\sigma_{tot} = 71$ мб.

Исследован возможный вклад от различных потенциалов, резко меняющих свое поведение на определенном, достаточно большом расстоянии, - модифицированного потенциала [18], СКР-потенциала с сингулярностью на конечном расстоянии [19], струнного типа [20], в амплитуду адрон-адронного рассеяния. Показано, что такие вклады могут приводить к осцилляциям с большой частотой

и зависящим от q периодом в вещественной части амплитуды рассеяния при малых переданных импульсах. Проведенный анализ экспериментальных данных с учетом вклада таких потенциалов позволил получить параметры потенциала и описать имеющиеся осцилляции в дифференциальных сечениях.

Выполнен анализ спиновой структуры амплитуды кварк-кваркового рассеяния при высоких энергиях и передачах импульса $|t| > 1$ ГэВ². Были вычислены неглавные логарифмические члены амплитуды рассеяния и рассмотрены вклады различной матричной структуры в амплитуду с переворотом спина. Их величины оказываются не слишком малы, но отдельные слагаемые сильно компенсируют друг друга для кварков на массовой поверхности. Была показана возможность факторизации спин-флиповой амплитуды на зависящую от спина часть, определяемую вкладами больших расстояний, и высокоэнергетический бесспиновый померонный обмен.

$$\begin{aligned} \langle T(s, t) \rangle_{nf} &= A^{2g}(s, t) (1 + O(\alpha_s)) \\ \langle T(s, t) \rangle_f &= A^{2g}(s, t) \sum_{i=a..c} \langle \hat{B}_i \rangle_f. \end{aligned} \quad (8)$$

Отметим, что вклад отдельных структур не мал по отношению к единице (величина амплитуды без переворота спина, нормированная на $A^{2g}(s, t)$ член), однако они имеют различные знаки и существенно компенсируют друг друга в полной амплитуде.

В четвертой главе диссертации разработан метод вычисления фазы кулоновской амплитуды во втором борновском приближении с учетом форм-фактора взаимодействующих нуклонов. Показано, что точные вычисления фазы с монополюсным форм-фактором, использованным ранее, отличаются от расчетов [21]. Вычисленная фаза кулоновской амплитуды с дипольным форм-фактором существенно изменяет поведение фазы кулон-ядерной амплитуды, особенно в области $|t| > 0.05$ (ГэВ²). Форм-фактор разлагался на ряд членов и, как результат, во втором борновском приближении амплитуда может быть представлена в виде ряда слагаемых, представляющих произведение отдельных эйкональных фаз χ_i

соответствующих борновских амплитуд:

$$F_c^{2b} = \frac{1}{2i} \int_0^\infty [\{2 \otimes 2\} + \{2 \otimes 3\}] J_0(bq) b db, \quad (9)$$

где

$$\begin{aligned} \{2 \otimes 2\} &= \chi'_0 \chi''_0 - \chi'_0 \chi''_1 - \chi'_1 \chi''_0 + \chi'_1 \chi''_1, \\ \{2 \otimes 3\} &= -\chi'_0 \chi''_2 - \chi'_2 \chi''_0 + \chi'_1 \chi''_2 + \chi'_2 \chi''_1 + \chi'_2 \chi''_2. \end{aligned}$$

Такое разложение позволило точно вычислить все многократные интегралы и получить соответствующую дополнительную часть фазы ν_c , определяемую форм-фактором, без требования $t \rightarrow 0$. Полученные результаты совпадают с предыдущими вычислениями [21] при $t \rightarrow 0$, однако имеют принципиально разное поведение при больших $|t|$ (рис. 7.).

Получено эйкональное представление для полной кулон-ядерной фазы, являющейся аналогом формулы West-Yennie [22], но позволяющее вычислять кулон-ядерную фазу во всей дифракционной области взаимодействия адронов.

$$\varphi = \ln \frac{\Delta^2}{4} + 2\gamma + \frac{2}{F_h(s, \Delta)} \int_0^\infty \tilde{\delta}_c(\rho) (1 - \exp(-2i\delta_h(\rho, s))) J_0(\rho\Delta) d\rho, \quad (10)$$

$$\tilde{\delta}_c(\rho) = 2\rho \ln \rho + 2\rho K_0(\rho\Lambda) [1 + \frac{5}{24}\Lambda^2\rho^2] + \frac{\Lambda\rho}{12} K_1(\rho\Lambda) [11 + \frac{5}{4}\Lambda^2\rho^2]. \quad (11)$$

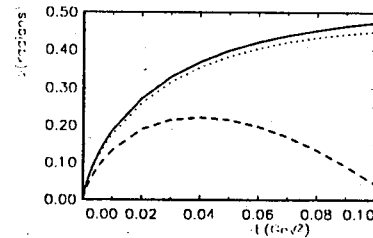


Рис. 7: Вычисленная ν_c (сплошная линия - с дипольным форм-фактором, пунктирная - с монополюсным форм-фактором при $\Lambda^2 = 0.71/3$ и штриховая - фаза из [21]).

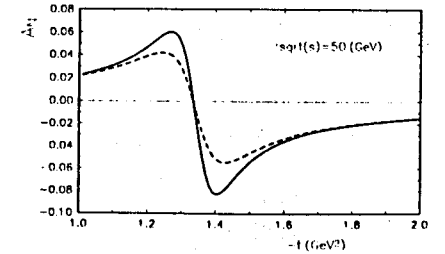


Рис. 8: Вклад кулон-ядерной интерференции в Λ_N (пунктирная линия и полная линии - без учета и с учетом кулон-ядерной фазы).

Эти расчеты позволили уточнить форму поляризации в области малых передач импульса и впервые получить величину и энергетическую зависимость A_N (рис. 8) и спинового корреляционного параметра A_{NN} в области дифракционного минимума, обусловленные кулон-ядерной интерференцией. Такие вычисления особенно важны для будущих экспериментов на ускорителях HERA-N, RHIC, LHC.

В пятой главе диссертации рассмотрены вопросы определения основных параметров амплитуды рассеяния в области малых передач импульса (полных сечений - σ_{tot} , наклона дифференциальных сечений - B , отношения вещественной и мнимой частей амплитуды рассеяния - ρ , фазы кулон-ядерного рассеяния - ϕ) на основе анализа экспериментальных данных по дифференциальным сечениям протон-протонного и протон-антипротонного упругого рассеяния. Показано, что получаемые "экспериментальные" величины являются в достаточной степени модельно-зависимыми.

Так, на основе полученного уравнения для мнимой части амплитуды рассеяния

$$Im F_N(s, t) = - \frac{\rho + \alpha\phi}{1 + \rho^2} F_c^2 + \left[\left(\frac{\rho + \alpha\phi}{1 + \rho^2} \right)^2 F_c^2 + \frac{1}{1 + \rho^2} \left(\frac{1}{\pi} \frac{d\sigma(s, t)}{dt} - F_c^2 \right) \right]^{1/2}, \quad (12)$$

проведенный анализ ряда выполненных экспериментов показал несоответствие формы, получаемой мнимой части амплитуды рассеяния, неявно заложенному предположению об ее экспоненциальном поведении. Разработанная методика определения базовых параметров с наложенным условием об обязательном получении экспоненциальной зависимости амплитуды рассеяния от переданного импульса приводит к отличию получаемых базовых величин от определенных в экспериментальных работах. Это означает, что полные сечения $\sigma_{tot}(s)$ и параметр $\rho(s, t = 0)$, входящие в существующие анализы экспериментальных данных на основе дисперсионных соотношений, и различные экстраполяционные формулы для роста полных сечений могут иметь несколько иные значения,

а сами анализы являются также, в некоторой степени, модельно-зависимыми.

На этой основе был проведен детальный модельно-зависимый анализ высокоточных экспериментальных данных по упругому $\bar{p}p$ -рассеянию коллаборации UA4/2 при $\sqrt{s} = 546$ ГэВ. В результате было открыт новый эффект - уменьшение наклона дифференциальных адронных сечений в кулоновской области передач импульса (рис. 9). Показано, что этот эффект может быть объяснен наличием вклада спиновой амплитуды, что позволяет восстановить экспоненциальную зависимость амплитуды упругого рассеяния без переверота спина. Было также показано, что значение ρ в этом эксперименте равно $.19 \pm .04$, что существенно отличается от значения полученного при анализе этого эксперимента членами коллаборации UA4/2 (рис. 10).

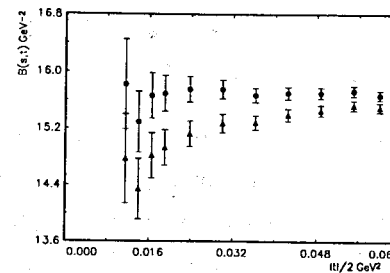


Рис. 9: Величина наклона как функция исследуемого интервала Δt , без учета - Δ и с учетом - \circ спинового вклада.

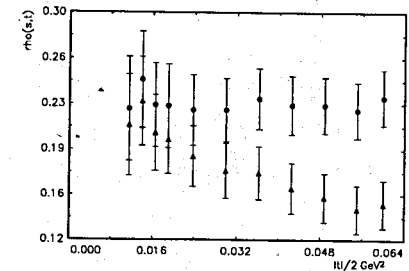


Рис. 10: Величина ρ как функция исследуемого интервала Δt , без учета - Δ и с учетом - \circ спинового вклада.

Показано, что высокоточные данные dN/dt UA4/2 коллаборации при $\sqrt{s} = 541$ ГэВ совместимы с предсказаниями Auberger - Kinoshita - Martin (AKM) [23] типа осцилляций в области очень малых передач импульса. Эти осцилляции являются периодическими по $\sqrt{|t|}$, с характерным для АКМ периодом $\approx 2 \cdot 10^{-2}$ ГэВ. Предложен метод, позволивший показать статистически достоверное наличие такой периодической части амплитуды рассеяния в существующих экспериментальных данных. Проанализированы следствия присутствия

осциллирующей части для определения вещественной части амплитуды рассеяния без переворота спина.

В шестой главе диссертации предложены новые идеи для разработки методов анализа экспериментальных данных с целью получения параметров амплитуды упругого рассеяния, таких, как полное сечение и величина вещественной части амплитуды рассеяния. Так, на основе исследования свойств базового уравнения для дифференциальных сечений получено соотношение Del , позволяющее определить величину вещественной части амплитуды рассеяния в узкой области переданного момента для протон-протонного рассеяния при высоких энергиях и для протон-антипротонного рассеяния при низких энергиях. Так для pp -рассеяния при высоких энергиях:

$$Del = (N - 1)(ImF_c + ImF_N)^2 + n(ReF_c + ReF_N)^2. \quad (13)$$

Так как для этого случая реальная часть $-ReF_c$ кулоновской амплитуды рассеяния отрицательна, а реальная часть $-ReF_N$ адронной амплитуды рассеяния положительна, ясно, что это выражение будет иметь минимум при определенном t_{min} , где $|ReF_c| = |ReF_N|$. Величина t_{min} практически не зависит от нормализационного коэффициента n (связанного с определением светимости и с величиной полных сечений σ_{tot}). В результате, определяя положение этого минимума, можно получить величину вещественной части амплитуды рассеяния в узкой области переданного момента и слабо зависящей от определения светимости и полных сечений.

Предложен новый метод для определения величины полных сечений на основе анализа корреляционных зависимостей полных сечений, нормировочного коэффициента и реальной части амплитуды рассеяния. С помощью этих методов получено с высокой точностью полное сечение протон-антипротонного рассеяния при $\sqrt{s} = 540$ ГэВ равное 63.5 ± 0.5 мб, что практически точно совпало с нашим определением этого полного сечения при предыдущем анализе в главе пять.

На основе анализа формы поляризации получена новая связь полных сечений

и положения максимума поляризации. Это может позволить получать величину полных сечений без знания значений светимости и нормализационных коэффициентов.

Предложен метод получения величины и формы вещественной части амплитуды рассеяния, не использующий гипотезу о поведении ее мнимой части:

$$ReF_1^h = -ReF_1^c + \left[\frac{n}{4\pi} \frac{d\sigma^{exp}}{dt} - (ImF_1^c + \tilde{A}_N n \frac{d\sigma^{exp}}{dt})^2 \right]^{1/2}. \quad (14)$$

Показана возможность получить ограничения величины амплитуды с переворотом спина из экспериментальных данных по дифференциальным сечениям упругого адрон-адронного рассеяния и вычислены возможные величины. Соответствующие оценки подтверждают предыдущий анализ экспериментальных данных при $\sqrt{s} = 540$ ГэВ и возможный вклад амплитуды с переворотом спина.

Выполнен анализ структуры кулон-ядерной интерференции в области малых передач импульса, и получены соотношения для вкладов мнимой и вещественной части амплитуды с переворотом спина. Предложен новый метод определения этих вкладов из измерения анализирующей способности при плохом знании величины поляризации пучка. Метод основан на том, что ширина пика анализирующей способности $-W_h$ на половине его высоты зависит в основном от разницы коэффициентов $k_2 - k_1$, отражающих соотношение вещественных и мнимых частей амплитуд s и без переворота спина. Показано, что измерение этой величины позволяет определить величину адронной амплитуды рассеяния с переворотом спина в случае, если эта часть мала (без учета кинематического фактора $\sqrt{|t|}$).

В заключении приведены основные результаты, полученные в диссертационной работе.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

1. Развита динамическая модель высокоэнергетического адрон-адронного взаимодействия с учетом вкладов N и Δ -изобары в промежуточном s -канальном состоянии, спина и сильных форм-факторов взаимодействующих адронов. На основе этой модели впервые в едином подходе получены:

- величина и форма амплитуд с переворотом и без переворота спина для различных адрон-адронных реакций в широкой области передач импульса;
- количественное описание pp - $\bar{p}p$ - $\pi^\pm p$ - $K^\pm p$ - упругого высокоэнергетического рассеяния и реакции перезарядки $\pi^- p \rightarrow \pi^0 p$;
- предсказания о существенных спиновых эффектах при больших энергиях рассеяния и фиксированных передачах импульса адронов и об изменении динамики взаимодействия адронов при сверхвысоких энергиях, связанным с насыщением унитарного предела и ведущим к изменению поведения дифференциальных сечений при больших передачах импульса.
- структура и энергетическая зависимость спин-зависящих амплитуд протон-протонного pp - упругого рассеяния в кулоновской области передач импульса; величина и энергетическая зависимость относительного вклада адронной амплитуды с переворотом спина к значению анализирующей способности, определяемой кулон-ядерной интерференцией.

2. В рамках эйконального приближения получена взаимно однозначная связь между значением эйкональной фазы при нулевых прицельных параметрах и отношением упругих сечений к полным. Показано, что интерсепт эйконализированного померона примерно в два раза меньше интерсепта борновского померона. Обнаружен рост интерсепта померона в области энергий SPS по сравнению с областью энергий ISR.

3. Получено, что в КХД диаграммах порядка α_s^3 глюонные вклады приводят к спин-флиповой амплитуде, растущей пропорционально s . Найденная амплитуда с переворотом спина T_f составляет несколько процентов амплитуды без переворота спина.

4. Разработан метод вычисления фазы кулоновской амплитуды во втором борновском приближении с учетом форм-фактора взаимодействующих частиц. Вычисленная фаза кулоновской амплитуды с дипольным форм-фактором существенно изменяет поведение фазы кулон-ядерной амплитуды, особенно в области $|t| > 0.05$ (ГэВ²).

5. Получено эйкональное представление для полной кулон-ядерной фазы, являющееся аналогом формулы West-Yenne, но позволяющее вычислять кулон-ядерную фазу во всей дифракционной области взаимодействия адронов. На этой основе впервые вычислена величина и энергетическая зависимость анализирующей способности A_N и спинового корреляционного параметра A_{NN} в области дифракционного минимума, обусловленные кулон-ядерной интерференцией, с учетом кулон-ядерной фазы.

6. На основе предложенного метода вычисления мнимой части амплитуды рассеяния для каждой экспериментальной точки показано, что имеется существенная неопределенность в определении базовых параметров, связанная с учетом гипотезы об экспоненциальном поведении амплитуды рассеяния. Анализ экспериментальных данных, основанный на предлагаемой методике, дал в ряде случаев отличные значения от полученных ранее рассматриваемых величин.

7. При анализе данных UA4/2 коллаборации при $\sqrt{s} = 546$ ГэВ был обнаружен новый эффект - уменьшение наклона дифференциальных сечений в кулоновской области передач импульса. Показано, что этот эффект может быть объяснен наличием вклада спиновой амплитуды. Найдено, что значение ρ в этом эксперименте равно $.19 \pm .04$ и существенно отличается от значения, представленного коллаборацией UA4/2, а также предсказаний, полученных на основе

дисперсионных соотношений.

8. Получена зависимость параметра наклона от t при наличии вклада амплитуды с переворотом спина и показана возможность получить ограничения на величину этой амплитуды из экспериментальных данных по дифференциальным сечениям.

9. Показано, что высокоточные данные dN/dt UA4/2 коллаборации при $\sqrt{s} = 541$ ГэВ совместимы с предсказаниями асимптотического типа осцилляций в области очень малых передач импульса с периодом пропорциональным $\sqrt{|t|}$. Предложен метод, позволивший показать статистически достоверное наличие такой периодической части амплитуды рассеяния в существующих экспериментальных данных. Проанализированы следствия присутствия такой осциллирующей части для определения вещественной части амплитуды рассеяния без переворота спина.

10. Предложен новый метод получения величины вещественной части амплитуды рассеяния в узкой области переданного момента для pp -рассеяния при высоких энергиях и для $\bar{p}p$ -рассеяния при низких энергиях.

11. Предложен новый метод для определения величины полных сечений на основе корреляционного анализа поведения реальной части амплитуды рассеяния. С помощью этого метода получено с высокой точностью полное сечение протон-антипротонного рассеяния при $\sqrt{s} = 540$ ГэВ, равное 63.5 ± 0.3 мб.

12. Получены соотношения для вкладов мнимой и вещественной части амплитуды с переворотом спина, и предложен новый метод определения этих вкладов из измерения анализирующей способности при плохом знании величины поляризации пучка, что позволяет определить величину спиновой части амплитуды рассеяния.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. С.В. Голоскоков, С.П. Кулешов, О.В. Селюгин. Спиновые эффекты в pp и $\bar{p}p$ рассеянии при $\sqrt{s} < 100$ ГэВ, ЯФ., 1987, т.46, с. 195-201.
2. С.В. Голоскоков, С.П. Кулешов, О.В. Селюгин. "Упругое рассеяние адронов и структура нуклона", ЯФ., 1987, т.46, с. 572-575.
3. С.В. Голоскоков, С.П. Кулешов, О.В. Селюгин. Предсказания спинового механизма адронного взаимодействия при сверхвысоких энергиях. ЯФ., 1987, т.46, с. 907-913.
4. С.В. Голоскоков, С.П. Кулешов, О.В. Селюгин. Спиновые явления в высокоэнергетическом рассеянии адронов. ЭЧАЯ, 1987, т.18, с. 39-78.
5. S.V. Goloskokov, O.V. Selyugin, V.G. Teplyakov. Calculation of Spin Flip Amplitude of Charge-Exchange process $\pi^-p \rightarrow \pi^0n$. JINR Rapid Comm. v.7, [33], p. 32-36, Dubna, 1988.
6. С.В. Голоскоков, С.П. Кулешов, О.В. Селюгин, Амплитуда с изменением спиральности высокоэнергетического упругого NN-рассеяния в случае сильных форм-факторов, ЯФ, 1989, т. 50, с. 779-783.
7. S.V. Goloskokov, S.P. Kuleshov., O.V. Selyugin, Spin effects in hadron scattering at UNK energies, in Proc. Int. Workshop, "Physics at UNK", Protvino, 1989, p. 204-208.
8. С.В. Голоскоков, С.П. Кулешов, О.В. Селюгин, Поляризационные эффекты в мезон-нуклонном рассеянии при высоких энергиях, ЯФ., 1990, т. 52, с. 561-566.
9. S.V. Goloskokov, S.P. Kuleshov., O.V. Selyugin, Spin effects in high energy hadron-hadron scattering, Z.Phys. C - Particles and Fields, 1991, v. 50, p. 455-464.

10. S.V. Goloskokov, S.P. Kuleshov., O.V. Selyugin, Polarization effects in exclusive pion-nucleon reactions at high energies, in Prociding of III International Workshop on High energies spin physics, Protvino, ed. V.V. Mochalov, S.B. Nurushev, 1990, p. 120-125.
11. S.V. Goloskokov, O.V. Selyugin, Effects of the real part of high energy elastic nucleon-nucleon scattering, JINR Rap. Comm., 4[43]-90, 1990, p. 31-38.
12. S.V. Goloskokov, O.V. Selyugin, Spin amplitudes of quark-quark scattering in the QCD α_s^2 order, in the Proceedings of the International Conference on High Energy Spin Physics, 1993, Protvino, ed. L.F. Soloviev, S.B. Nurushev, p.100-103.
13. O.V. Селюгин, Амплитуда упругого адрон-адронного рассеяния в кулоновской области передач импульса, ЯФ, 1992, т. 55, с. 841-853.
14. С.В. Голоскоков, O.V. Селюгин, Спиновые эффекты в высокоэнергетическом кварк-кварковом рассеянии, preprint JINR E2-93-164, ЯФ, 1994, т. 57, с. 727-732.
15. S.V. Goloskokov, S.P. Kuleshov., O.V. Selyugin, The behavior of the slope of elastic nucleon scattering at small transfer momenta and recent UA4 data, preprint JINR E2-93-433, Mod.Phys.Lett., 1994, A 9, p.1207-1211.
16. O.V. Selyugin, What can be learnt from the new UA4/2 data, preprint JINR E2-93-454, Phys. Lett., 1994, B 333, p. 245-249.
17. S.V. Goloskokov, S.P. Kuleshov., O.V. Selyugin, The energy dependence of the Pomeron and the eikonalized Pomeron, in the Proceedings Of the International Conferense "Hadrons-94", Uzhgorod,1994, ed. G. Bugrij, L. Jenkovszky, E. Martynov, Kiev (1994), p. 89-96.
18. Selyugin O.V., The phase of the modified coulomb amplitude, in the Proceedings Of the International Conferense "Hadrons-94", Uzhgorod,1994, ed. G. Bugrij, L. Jenkovszky, E. Martynov, Kiev (1994), p. 97-103.

19. С.В. Голоскоков, С.П. Кулешов, O.V. Селюгин, Спиновые эффекты в pp -рассеянии в дифракционной области при энергиях RHIC, ЯФ, 1995, т.58, с. 1894-1897.
20. S.V. Goloskokov, S.P. Kuleshov., O.V. Selyugin, Supercritical pomeron and eikonal representation of the diffraction scattering amplitude, preprint IPNO/TH 95-12, Orsay, Modern Phys. Lett., 1995, A 10, p. 1959-1967.
21. O.V. Selyugin, The new methods for calculating parameters of the diffraction scattering amplitude, in Prociding "Frontiers in Strong Interactions", ed. P.Chappetta, M.Haguenuer, J.Tranh Van, Blois, 1995, p. 87-90.
22. O.V. Selyugin, Oscillation of the hadronic amplitude at small transfer momenta, in Proc. " Hadrons-95: Diffraction", Novy Svet, Crimea (1995) ed. G. Bugrij, L. Jenkovszky, p. 65-68; Ukr.J.Phys., 1996, v. 41, p. 296-297.
23. O.V. Selyugin, Polarization and electromagnetic effects in the diffraction range of hadrons scattering, in Procid. "High energy spin physics", Protvino, (1995), ed. Yu.V. Karlov, S.B. Nurushev, p. 174-177.
24. Selyugin O.V., The phase of the coulomb amplitude in the second Born approximation, preprint JINR E2-96-58; Mod. Phys. Lett. 1996, A 11, p. 2317-2323
25. S.V. Goloskokov, S.P. Kuleshov., O.V. Selyugin, Spin asymmetries of the proton-proton elastic scattrng at HERA-N in the Proceedings of the International Workshop "Prospect of Nucleon-Nucleon Spin Physics at HERA", Dubna, 1996, ed. W.-D. Nowak, O. Selyugin, p. 103-108.
26. O.V.Selyugin, Phase of coulomb-nucleon interaction and spin effects in the diffraction range of elastic scattering" in the Proc. of the Inter. Conf. "Hadrons-96: Confinement", Crimea, ed. G.Bugrij, L.Jenkovszky, E. Martynov, Kiev, (1996) p. 205-213.

27. P.Gauron, B.Nicolescu, O.V.Selyugin, Structure of the high energy elastic scattering amplitude and spin asymmetries, in the Proc. of the Inter. Conf. "Hadrons-96: Confinement", Crimea, ed. G.Bugrij, L.Jenkovszky, E. Martynov, Kiev, (1996) p. 242-251.
28. O.V. Selyugin, Spin asymmetry in elastic high energy scattering with coulomb-hadron interference effects, in Proc. XII Int. Conf. on High Energy Spin Physics, 10-14 September, Amsterdam, ed. C.W. de Jager, T.J. Ketel et al., (1996), p.549-551.
29. P.Gauron, B.Nicolescu, O.V.Selyugin, Model independent determination of hadron elastic scattering at high energy and small transfer momenta, preprint IPNO-47,1996, Phys.Lett., 1997, B 390, p. 405-408.
30. O.V. Selyugin, Coulomb-nucleon phase and spin effects in the diffraction dip domain, preprint IPNO, Mod.Phys.Lett, 1997, A 12, p. 1379-1385.
31. P.Gauron, B.Nicolescu, O.V.Selyugin, "The AKM theorem and oscillations in the hadron scattering at high energy and small momentum transfer, Phys.Lett. 1997, B 397, p. 305-310.
32. O.V.Selyugin, Definition of Hadron Spin-Flip Amplitude and CNI, in the Proceedings of the International Conferense "Recent Advances in Hadron Physics", Seoul, 1997, ed. K. Kang, S.K. Kim, C. Lee, p. 134-138.
33. O.V.Selyugin, Energy dependence of the Coulomb-nucleon interference at small transfer momenta, in the Proceedings of the International Conferense "High Energy Spin Physics", Dubna, 1997, ed. A.V. Efremov, O.V. Selyugin, p. 188-193.
34. N.Akchurin, S.V. Goloskokov, O.V. Selyugin, Spin-dependent differential cross sections at small angles, preprint JINR, E2-97-78, Dubna, 1997, accepted Int. J. of Mod. Phys. A.
35. S.V. Goloskokov, S.P. Kuleshov., O.V. Selyugin, Elastic nucleon scattering at small angles at LHC energies, hep-ph/9707219;

36. O.V.Selyugin, "Energy dependence of the Coulomb-nuclear interference at small transfer momenta" preprint JINR, E2-97-282, Dubna, 1997; принято в печать ЯФ..

Литература

- [1] Н.Н. Боголюбов, Д.В. Ширков, Введение в теорию квантованных полей, М., ГИТТМ, 1957.
- [2] A. Martin, LOI TOTEM, preprint CERN/LHCC 97-49, p.3 (1997).
- [3] В.А. Матвеев, Р.М. Мурадян, А.Н. Тавхелидзе, ЭЧАЯ, **3**, 1, (1971).
- [4] J. Fischer,, Phys.Rep. **76** 157 (1981).
- [5] V.R. Garsevanishvili, V.A. Matveev L.A. Slepchenko, A.N. Tavkhelidze, Phys.Rev., **D4** p.849 (1971).
- [6] Н.И. Старков, В.А. Царев, ЖЭТФ, **23**, с. 403 (1976); S. Barshai and P. Heiliger, Z. Phys., **C 64**, p.675 (1994).
- [7] Л.И. Липидус, ЭЧАЯ, **9**, 84 (1978); N.H. Buttimore, E. Gotsman, E. Leader, Phys. Rev. **D 35**, p. 407 (1987).
- [8] P. Gauron, B. Nicolescu, Phys. Lett. **B 292** (1992) p. 448.
- [9] Л.Д. Соловьев, А.В. Шелкачев, ЭЧАЯ, **6**, 716 (1975); С.М. Трошин, Н.Е. Тюрин, ЭЧАЯ, **19**, с. 997 (1988);
- [10] Е. А. Кураев, Л.Н. Липатов и В.С. Фадин, ЖЭТФ, **44**, с. 443 (1976); Ю.Ю. Балитский и Л.Н. Липатов, ЯФ, **28**, с. 822 (1978).
- [11] S.V. Goloskokov, Phys.Lett., **B 315**, p. 459 (1993).
- [12] J. Pumplin, G.L. Kane, Phys.Rev. **D11**, p. 1183 (1975).
- [13] Боресков К.Г. и др., ЯФ, 1978, **27**, с. 813 (1978).

- [14] В.Д. Апокин и др., ЯФ, **38**, с. 956 (1983).
- [15] I. Snyder et al., Phys. Rev.Lett., **47**, p. 781 (1978).
- [16] M. Sawamoto, S. Wakaizumi, Proc. Theor.Phys., **62**, p. 1293. (1979)
- [17] F.Abe et al., CDF Collab., Phys.Rev. **D 50**, p. 5550 (1994).
- [18] Б.А. Арбузов, ЭЧАЯ, **19**, с. 5 (1988); ЯФ, **40**, с. 836 (1984).
- [19] А.Т. Филиппов, ЭЧАЯ, **10**, с.501 (1979).
- [20] F. Iachello, D. Kuznezov, Phys. Lett. **B 255**, p.493 (1991); Phys. Rev. **D 45**, p.4156 (1992).
- [21] R. Cahn, Zeitschr. fur Phys. **C 15**, p. 253 (1982).
- [22] G.B. West, D.R. Yennie, Phys. Rev., **172**, p. 1414 (1968).
- [23] G. Auberson, T. Kinoshita and A. Marten, Phys.Rev. **D 3**, p. 3185 (1971).

Рукопись поступила в издательский отдел
8 февраля 1999 года.