

+

788/343и

Аверичев Г.С. и др.

Исследование поляризованных...

Б1-1-94-512



16

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Б1-1-94-512

ДЕПОНИРОВАННАЯ ЛУБЛИКАЦИЯ

Аверичев Г.С. и др. Б1-1-94-512

Объединенный институт ядерных исследований

Б1-1-94-512

Исследование поляризационных явлений в релятивистской ядерной физике и физике частиц

(Программа экспериментов на 1995-2000 гг.)

Аннотация

Представлена физическая программа перспективных исследований Лаборатории высоких энергий на 1995-2000 гг. поляризационных явлений в релятивистской ядерной физике и физике частиц на ускорительных комплексах ЛВЭ ОИЯИ, AGS и RHIC. Программа одобрена Программным комитетом по физике частиц ОИЯИ. Коллектив авторов принят в состав STAR и RSC коллабораций. Заключено соглашение с Бруксейвской национальной лабораторией о проведении совместных исследований по цветовой прозрачности ядер и кумулятивных процессов на AGS.

28. 12. 94

Программа подготовлена при поддержке гранта Российского Фонда
Фундаментальных Исследований No. 94-02-06477.

Дубна, 1994

Исследование поляризационных явлений в релятивистской ядерной физике и физике частиц

(Программа экспериментов на 1996-2000 гг.)

Введение

Среди наиболее фундаментальных проблем современной ядерной физики и физики частиц особую важность имеют проблемы конфайнмента в сильных взаимодействиях, происхождение спина нуклона и структуры вакуума в квантовой хромодинамике. Решение этих проблем требует глубоких экспериментальных и теоретических исследований процессов, протекающих на расстояниях от радиуса конфайнмента, где доминируют непertурбативные эффекты, до расстояний на которых уже начинает работать пертурбативная КХД.

Одним из наиболее перспективных подходов к решению этих проблем является исследование поляризационных явлений в сильных взаимодействиях при высоких энергиях. Значительная роль глюонной компоненты в формировании спиновой структуры нуклона, по нашему мнению, позволит связать между собой спиновые и цветовые степени свободы и подойти к более глубокому пониманию сильных взаимодействий.

Основная цель настоящего проекта – осуществление международной программы экспериментальных и теоретических исследований поляризационных явлений в релятивистской ядерной физике и физике частиц.

По нашему глубокому убеждению возможность осуществления экспериментов на собственной ускорительной базе синхрофазотрон – нуклотрон является краеугольным камнем настоящей программы исследований.

В части связанной с развитием поляризационных исследований на ускорительном комплексе ЛВЭ предлагаемая программа является продолжением и развитием общеинститутской темы первого приоритета 03-0-0941-91/95 "Исследования ненуклонных степеней свободы и спиновых эффектов в малонуклонных системах".

Экспериментальная программа поляризационных исследований на ускорительном комплексе ЛВЭ выполняется с участием физиков из стран участниц ОИЯИ – Болгарии, Азербайджана, России, Украины, Румынии, Чехии, Польши.

В ее осуществлении принимают участие физики Германии, Франции, США, Японии.

Российская Академия наук поддержала исследования с поляризованными дейтронами на синхрофазотроне и подготовку Программы поляризационных ядерных исследований грантами Российского Фонда Фундаментальных Исследований 93-02-03961 и 94-02-06477. Эти работы также частично поддержаны фондом SOROS. Создание в Дубне поляризованной мишени поддержано INTAS фондом.

В 1991 – 1994 гг. в ЛВЭ ОИЯИ на установках АЛЬФА и АНОМАЛОН получены приоритетные результаты по измерению тензорной анализирующей способности и векторного коэффициента передачи поляризации при фрагментации дейтронов в протоны. Результаты этих экспериментов показали, что использование новой дополнительной переменной -

спина кардинально меняет наши представления, о структуре дейтрона на малых межнуклонных расстояниях, основанные на классической протон-нейтронной модели ядра.

В 1994 году был проведен первый эксперимент по измерению односпиновых асимметрий рождения пионов в кумулятивной области в процессах фрагментации векторно-поляризованных дейтронов на установке ДИСК и получена важная информация о механизме асимметрии в кумулятивной области.

Наиболее перспективными моментами развития поляризационных исследований на ускорительном комплексе синхрофазотрон – нуклотрон в 1996-2000 гг. мы считаем эксперименты с поляризованной мишенью и изучение одночастичных асимметрий рождения пионов и каонов в кумулятивных и подпороговых процессах.

Эксперименты на пучке поляризованных дейтронов с неполяризованными мишенями

1. Исследования структуры дейтрона на малых межнуклонных расстояниях.

1.1. В настоящее время усилиями коллаборации "АЛЬФА" в экспериментах на синхрофазотроне в Дубне и ускорителе САТУРН в Сакле измерены дифференциальные сечения, тензорная анализирующая способность T_{20} и коэффициент передачи спина от дейтрона к протону κ_0 в реакциях упругого дейтрон-протонного рассеяния "назад" в с.ц.и и фрагментации дейтрона на ядрах с вылетом протона-фрагмента "вперед" практически во всем доступном на этих ускорителях диапазоне энергий. Таким образом получен полный набор наблюдаемых, возможный для этих реакций в коллинеарной геометрии при использовании неполяризованной мишени. Новые данные указывают на ограниченность традиционных представлений о структуре дейтрона, сложившихся на основе опытов при низких (несколько сот МэВ) энергиях. Очевидна необходимость учета как дополнительных, ненуклонных, степеней свободы в дейтроне, так релятивистских эффектов и возможных механизмов реакций.

Дальнейшее развитие таких исследований в ЛВЭ ОИЯИ требует существенного повышения интенсивности пучка поляризованных дейтронов и применения поляризованных протонной и дейтронной мишеней.

1.2. На поиск дополнительных степеней свободы в дейтроне ($\Delta\Delta$ -компоненты) направлено предложение группы New Hampshire Университета (USA). Предполагается изучать $\Delta\Delta$ -дибарионную систему в реакциях $d(\vec{d}, \vec{d})X$ и $d(\vec{d}, \vec{d}\pi)X$ на ускорителе ЛВЭ ОИЯИ.

Теоретические исследования в КХД-подходах предсказывают сильное притяжение $\Delta\Delta$ -взаимодействий, в отличие от NN -рассеяния. Регистрация $\Delta\Delta$ -состояния с квантовыми числами $(T=0, S=1)$ и $(T=0, S=3)$ явилась бы существенным указанием на новую форму bq -состояния адронной материи.

1.3. Данные по взаимодействию дейтрона, полученные на 100-см водородной пузырьковой камере ЛВЭ ОИЯИ, позволяют в условиях 4π -геометрии восстанавливать полную кинематику событий.

Исследование сечений, пространственных корреляций, векторной анализирующей способности в различных каналах: канале перезарядки $dp \rightarrow pp(^1S_0)n$, прямом канале $dp \rightarrow ppp$, каналах с рождением пионов при различных кинематических условиях дает возможность понять влияние эффектов взаимодействия в конечном состоянии, двойного перераспределения, возбуждения Δ -изобары в промежуточном состоянии и т.д.

В рамках импульсного приближения из поляризационных данных можно извлечь с хорошей точностью интегральный вес D -состояния в дейтроне.

Анализ данных, полученных на водородной камере, очень существенен как с точки зрения изучения структуры дейтрона и возможных механизмов реакции, так и с точки зрения оптимальной постановки электронных экспериментов, в том числе и на поляризованной мишени.

1.4. Исследование поляризационных характеристик A_{YY} , A_Y в реакции фрагментации дейтрона с вылетом фрагмента с большим поперечным импульсом на установке МАСПИК могло бы существенно дополнить данные, полученные в коллинеарной кинематике. Расширение кинематических условий позволило бы, в рамках единого подхода, понять относительный вклад различных механизмов реакции и структуру дейтрона на малых расстояниях.

1.5. Группой физиков коллаборации СФЕРА предложен эксперимент по исследованию тензорной анализирующей способности процесса фрагментации поляризованных дейтронов в кумулятивные мезоны и околопороговые антипротоны в реакции $\vec{D} + A \rightarrow h(0^\circ) + X$ с целью исследования проявлений спиновых степеней свободы при генерации кумулятивных частиц различного кваркового состава и использования данных по поведению спиновых наблюдаемых для дискриминации теоретических моделей, связывающих механизм кумулятивного рождения со структурой ядер на малых расстояниях и особенностями кваркового моря в ядрах. Эксперимент основан на использовании большой время - пролетной базы для селекции частиц и импульсной селектирующей способности канала транспортировки частиц к спектрометру СФЕРА. В эксперименте будут использованы система сбора данных и время - пролетная техника, развитые на установке СФЕРА.

1.6. Планируется изучение структуры дейтрона и NN - взаимодействий при более высоких энергиях поляризованных дейтронов на ускорителях КЕК и AGS.

Для пучка поляризованных дейтронов КЕК готовится программа, включающая:

1. Измерение коэффициента передачи векторной поляризации κ_0 и тензорной анализирующей способности T_{20} для дейтрон-протонного рассеяния назад и фрагментации на протонах и ядрах.

2. Измерение векторной анализирующей способности A_Y для реакции $np \rightarrow d\gamma$.

3. Измерение векторной анализирующей способности A_Y и спин-корреляции A_{NN} для pp и np рассеяния при больших F_T .

4. Измерение векторной анализирующей способности A_Y для $(\vec{p}, 2p)$ и (\vec{n}, np) квазиупругого рассеяния.

Между ОИЯИ и университетом Нагоя заключено соглашение по исследованию малонуклонных систем с использованием пучков поляризованных дейтронов в ОИЯИ и КЕК. Коллаборацией АНОМАЛОН совместно с физиками университета Нагоя выполнено исследование тензорной анализирующей способности реакции фрагментации дейтронов $\vec{D} + {}^{12}\text{C} \rightarrow p(0^\circ) + X$ до максимально высоких значений внутренних импульсов (1 ГэВ/с), доступных на пучке дейтронов ЛВЭ $p_D = 9$ ГэВ/с. Дальнейшее продвижение по шкале внутренних импульсов при исследовании спиновой структуры кора дейтрона будет возможно при ускорении в КЕК поляризованных дейтронов до импульса 11 ГэВ/с. Такие эксперименты планируется начать в 1995г. Коллаборацией ОИЯИ-Нагоя подана заявка на измерение передачи поляризации в реакции $\vec{D} + A \rightarrow p(0^\circ) + X$ на векторно - поляризованном пучке дейтронов КЕК.

2. Исследования процессов возбуждения нуклонных резонансов и их характеристик.

2.1. Эти эксперименты являются продолжением исследований, начатых опытами по перезарядке ядер гелия-3 в тритоны с возбуждением дельта-изобары в ядрах. Коллаборацией "АЛЬФА" начаты эксперименты по изучению поляризационных характеристик реакции неупругого рассеяния дейтронов протонами и ядрами "вперед" с возбуждением

дельта-изобары, роверовского резонанса и, возможно, с когерентным рождением пионов.

Важной частью этой программы являются измерения спектров неупруго рассеянных протонов и ядрами "вперед" альфа-частиц при нескольких начальных энергиях. Анализ этих данных совместно с данными по рассеянию дейтронов в аналогичной кинематике даст возможность разделить эффекты механизма взаимодействия и выявить особенности, определяемые свойствами резонансов, возбужденных в ядерной материи. В перспективе предусматривается сопоставление полученных данных с аналогичными результатами, полученными с помощью электромагнитных "зондов".

2.2. Планируется продолжение таких опытов в Дубне и в Сакле, на установке SPES-4π, где предложен эксперимент с измерением поляризации рассеянного дейтрона модифицированным поляриметром РОММЕ. Коллаборация "АЛЬФА" участвует в подготовке поляриметра для этих исследований.

В будущем планируется исследование поляризационных характеристик реакции неупруго рассеяния дейтронов в эксклюзивной постановке с регистрацией пионов.

2.3. Помимо проведения экспериментов, в рамках коллаборации ведутся теоретические исследования в сотрудничестве с ЛТФ ОИЯИ, институтами и университетами России, Украины и Европы.

3. Исследование векторной анализирующей способности в кумулятивной области в реакции $pD \rightarrow hX$.

Установка ДИСК является многоплечевым спектрометром, позволяющим вести исследования в глубококумулятивной области, что принципиально отличает ее от других установок.

На установке ДИСК был обнаружен целый ряд новых физических явлений: кумулятивный ядерный эффект, А-зависимость процессов с большим P_T , закономерности кумулятивного рождения π^\pm, K^\pm мезонов. Перечисленные эффекты и данные по инклюзивным спектрам в реакции $pD \rightarrow pX$ стимулировали развитие моделей, учитывающих кварковую структуру ядер и позволили ввести новый объект адронной физики – кварк-партонную структурную функцию ядра.

На установке ДИСК в 1994 году проведены первые эксперименты по измерению векторной анализирующей способности A_N в реакциях

$$d \uparrow + N \rightarrow \pi^\pm + ..$$

$$d \uparrow + C \rightarrow \pi^\pm + ..$$

в интервале энергий дейтрона от 2 ГэВ до 9 ГэВ. Измерение показали, что в переходной области ($b_{II} \sim 1$) величина $A_N \geq 20 \div 50\%$ и уменьшается с ростом b_{II} .

Впервые была измерена векторная анализирующая способность A_N в кумулятивной области. Установлено, что она отлична от нуля и составляет 7-10 % при $X \approx 1.2$.

Анализ результатов первого эксперимента показал, что возможности синхрофазотрона позволяют провести в дальнейшем измерение векторной анализирующей способности со статистической ошибкой 2-3 % и продвинуться в область больших кумулятивных чисел.

Программа дальнейших исследований на установке ДИСК предполагает измерение тензорной анализирующей способности реакций $\vec{D} - p \rightarrow hX$ и $\vec{D} - D \rightarrow hX$.

Уникальные возможности установки ДИСК в сочетании с возможностями нуклотрона, наличие поляризованных пучков и мишеней позволяют планировать на установке проведение экспериментов результаты, которых могут дать новую и принципиально важную информацию о ядерных системах: в глубококумулятивной области, импульсных и спиновых распределениях их конститuentов.

Будут продолжены детальные исследования на легчайших ядрах (дейтерии, гелии, литий) основных механизмов адрон-ядерного взаимодействий, необходимых для создания теории ядерных систем в области, где существенны немассовые и релятивистские эффекты.

Предполагается исследование процесса образования странных частиц при взаимодействии протонов высокой интенсивности с легчайшими ядрами и в ядро-ядерных взаимодействиях.

Планируются исследования двухчастичных динамических корреляций кумулятивных частиц и частиц с $p_T > 1$ ГэВ/с.

На установке ДИСК возможно решить ряд прикладных задач. В их числе исследования с помощью безмагнитных адронных спектрометров различных спектров (n, p, π, γ) необходимых для создания базы данных по ядерным взаимодействиям.

4. Исследование механизмов рождения странных мезонов и антипротонов в $\bar{D} - A$ взаимодействиях в околопороговой и кумулятивной областях

На установке КАСПИЙ накоплен опыт экспериментального изучения рождения мезонов и антипротонов в $p - A$ и $A - A$ взаимодействиях. Изучены редкие процессы подпорогового рождения K -мезонов и антипротонов и установлены резко усиленные A -зависимости рождения морских частиц в околопороговой области.

Изучение таких процессов затрагивает фундаментальную проблему физики – изучение области перехода от нуклонных к кварковым степеням свободы в ядрах и установление пределов применимости стандартных представлений о нуклонной модели ядра. Экспериментальные исследования рождения частиц состоящих из морских кварков на пучках поляризованных дейтронов представляет существенный интерес для теории в изучении непертурбативных эффектов, структуры вакуума и спиновых степеней свободы в ядрах.

На установке КАСПИЙ планируется измерение асимметрии и тензорной анализирующей способности рождения π^\pm, K^\pm, p^\pm в $\bar{D} - A$ взаимодействиях в зависимости от энергии дейтронов, а так же от угла и импульса вторичных частиц в условиях высокой светимости и надежной идентификации редких процессов. Совместный анализ данных на поляризованных и неполяризованных пучках в условиях одного эксперимента даст возможность экспериментально установить величину эффекта поляризации в процессах образования адронов, получить новую информацию необходимую для построения теоретических моделей взаимодействия кварков и глюонов в переходной области.

5. Изучение спиновых эффектов во взаимодействии поляризованных протонов с ядрами

На установке "Сцинтилляционный магнитный спектрометр МГУ" начаты эксперименты по изучению спиновых эффектов во взаимодействии поляризованных протонов с ядрами. Для этих исследований был сформирован пучок поляризованных протонов в диапазоне энергий $T = 0.7 \div 3.6$ ГэВ с поляризацией 60% и интенсивностью до $2 \cdot 10^6$ частиц. Рекордный диапазон энергий первичного пучка протонов позволяет перекрыть энергетические диапазоны аналогичных пучков в LAMPF (Канада), SATURN II (Франция), КЕК (Япония) в условиях одного эксперимента.

Накоплен опыт прецизионных измерений анализирующей способности в протон - углеродном рассеянии и в области квазиупругого рассеяния протонов на внутриядерных нуклонах.

На установке СМС МГУ предполагается провести измерения анализирующей способности в области квазиупругого рассеяния на ядрах с разделением вклада от внутриядерных протонов и нейтронов.

Будут продолжены исследования анализирующей способности неупругого $\bar{p} - C$ взаимодействия в зависимости от доли импульса уносимого лидирующей частицей, в том числе с выделением каналов π^\pm и π^0 мезонообразования.

На установке СМС МГУ возможно изучение спиновых наблюдаемых в отдельных каналах неупругого взаимодействия на различных ядерных мишенях.

6. Исследование спиновой структуры альфа - частицы

На установках " АНОМАЛОН" и " КОНУС" планируется провести измерения тензорной поляризации дейтронов процесса ${}^4\text{He} + A \rightarrow \bar{D} + X$ развала релятивистских альфа - частиц под 0° в области внутренних импульсов дейтронов 150-500 МэВ/с.

Результаты таких измерений, совместно с данными по инвариантным сечениям исследуемого процесса, позволят разделить вклады S- и D- состояний в двухдейтронной компоненте волновой функции альфа - частицы.

Для исследования вклада D - состояния в коре альфа - частицы планируется измерить импульс дейтрона - фрагмента и его тензорную поляризацию. Расчеты предсказывают величину тензорной поляризации дейтрона около 0.6 при значении внутреннего импульса дейтрона внутри альфа - частицы 300-500 МэВ/с.

Ускорительный комплекс Лаборатории высоких энергий предоставляет уникальные возможности для проведения таких измерений. Использование высокоинтенсивного выведенного пучка альфа - частиц нуклотрона при оптимальном расположении мишени - стриппингатора альфа - частиц, позволит надежно выделить вторичный дейтронный пучок и сформировать его на мишени поляриметра с заданными значениями импульса. В этих экспериментах пучок поляризованных дейтронов будет использоваться для калибровок поляриметров.

Эксперименты на пучке поляризованных дейтронов с использованием поляризованной протонной мишени в ЛВЭ ОИЯИ

1. Измерение разницы полных сечений $\Delta\sigma_{L,T}$ в нейтрон-протонном взаимодействии до 4.5 ГэВ/с.

Измерения $\Delta\sigma_{L,T}$ в нейтрон-протонном взаимодействии ниже $T_{kin} = 1.1 \text{ ГэВ}$, проведенные в Сакле и Лос-Аламосе, показали необычное поведение этих данных по сравнению с предсказаниями фазового анализа для NN -рассеяния. Измерения $\Delta\sigma_{L,T}$ в ЛВЭ ОИЯИ при более высоких энергиях могут дать ответ на природу этого расхождения.

Эти измерения позволят восстановить мнимые части 2-х амплитуд np - упругого рассеяния, что очень существенно для проведения фазового анализа и проверки дисперсионных соотношений.

Измерения планируется провести на пучке стриппинговых нейтронов с продольной и поперечной поляризацией на поляризованной протонной мишени в ЛВЭ ОИЯИ.

2. Измерение спин-корреляционного параметра в дейтрон-протонном упругом рассеянии назад, $d + p \rightarrow p + d$.

Измерения тензорной анализирующей способности T_{20} и коэффициента передачи поляризации κ_0 в дейтрон-протонном упругом рассеянии назад, проведенные физиками ЛВЭ ОИЯИ в Дубне и Сакле в 1992-1994 гг. показали существенное отличие полученных экспериментальных данных от предсказаний нуклон-нуклонных потенциалов в широком диапазоне внутренних импульсов нуклона в дейтроне.

Измерение спин-корреляционного параметра в дейтрон-протонном упругом рассеянии назад с использованием поляризованного пучка дейтронов и поляризованной протонной мишенью планируется провести для диапазона внутренних импульсов нуклона в дейтроне $k = 300 - 600 \text{ МэВ/с}$.

Совместный анализ данных, полученных в этом эксперименте, и существующих данных по сечению, тензорной анализирующей способности и коэффициенту передачи поляризации позволит восстановить амплитуды процесса, в случае если они реальны, а также в рамках импульсного приближения оценить возможный Р-волновой вклад в волновую функцию дейтрона.

3. Изучение образования ϕ - мезонов при взаимодействии поляризованных нуклонов.

На накопительном кольце LEAR в ЦЕРН в рамках эксперимента PS 201 было обнаружено сильное нарушение правила Окубо-Цвейга-Иизуки. Отношение выходов образования Φ/ω -мезонов оказалось в тридцать раз больше теоретического.

Экспериментальную проверку модели нарушения правила ОЦИ за счет существования скрытой странности в нуклоне можно выполнить, изучая выход ϕ - мезонов при взаимодействии поляризованных нуклонов вблизи порога реакции.

Эти исследования предполагается провести на ускорителе ЛВЭ ОИЯИ, используя поляризованную протонную мишень на пучке поляризованных дейтронов коллаборацией физиков из Франции (САКЛЕ) и ОИЯИ (Дубна).

4. Измерение спин-корреляционных параметров в реакциях $d + p \rightarrow {}^3\text{He} + \pi^0$ и $d + p \rightarrow {}^3\text{He} + \eta^0$.

Поляризационные наблюдаемые в процессах рождения и абсорбции мезонов обладают высокой чувствительностью к NN - корреляциям на малых расстояниях (< 1 ферми), где существенную роль могут играть ненуклонные степени свободы, с одной стороны, и несут уникальную информацию о свойствах резонансов (Δ -изобары, N^*) в поляризованной ядерной среде с другой стороны.

Измерения спин-корреляционных параметров в реакциях $dp \rightarrow {}^3\text{He}\pi^0$ и $dp \rightarrow {}^3\text{He}\eta^0$ в коллинеарной геометрии планируется провести на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ с использованием поляризованного пучка дейтронов и поперечно поляризованной протонной мишени.

Совместный анализ данных, полученных в этих экспериментах, и существующих данных по сечениям и тензорной анализирующей способности для обеих реакций позволит восстановить амплитуды процесса с точностью до постоянной фазы, провести парциально-волновой анализ, оценить вклады 2-х и 3-х частичных нуклонных корреляций и т.д. Измерения этих параметров вблизи порога позволят прояснить вопросы относительного знака констант поглощения мезона на изоскалярных ($T = 0$) и изовекторных ($T = 1$) парах нуклонов, относительного вклада диаграмм с π - и ρ -обменами, возможного существования квазиосновного $\eta^3\text{He}$ состояния, динамической роли $s\bar{s}$ - пары в волновой функции η -мезона.

5. Измерение спин - спиновой корреляции сечений рождения кумулятивных мезонов в реакции $\vec{D} + \vec{p} \rightarrow \pi, K, p(0^0) + X$.

Исследование спин - спиновых корреляции сечений этих реакций при использовании продольно поляризованной протонной мишени и тензорно - поляризованного дейтронного пучка дополнит исследования тензорной анализирующей способности реакций фрагментации дейтронов в кумулятивные адроны.

Это даст возможность получить первые сведения о роли спин - спиновых корреляций при генерации кумулятивных частиц при возбуждении трех - нуклонной системы со спинами нуклонов, выстроенными в исходном состоянии.

Постановка эксперимента на ускорителе ЛВЭ ОИЯИ предложена группой физиков коллаборации "СФЕРА".

Список экспериментов с использованием поляризованной мишени может быть расширен. Монтаж поляризованной струйной мишени на внутреннем кольце нуклотрона, возможность вывода поляризованных дейтронов из нуклотрона также позволит существенно расширить класс проводимых поляризационных экспериментов.

Эксперименты по спиновой физике на RHIC и участие в создании установки STAR

Главным моментом, связанным с развитием международного сотрудничества в рамках предлагаемого проекта, является участие ЛВЭ совместно с другими Лабораториями ОИЯИ (ЛТФ, ЛВТА, ЛСВЭ) в коллаборации STAR на сооружаемом в Брукхейвенской Национальной Лаборатории коллайдере релятивистских ядер RHIC. Научная программа Брукхейвена по исследованиям в области релятивистской ядерной физики и краткое описание коллайдера RHIC и детектора STAR содержится в приложении 1.

Совершенно очевидно, что участие физиков ЛВЭ в экспериментах на RHIC по изучению ядро-ядерных взаимодействий позволит проверить фундаментальные гипотезы релятивистской ядерной физики в новой энергетической области.

1. Спиновая физика на RHIC – STAR

Следует особенно подчеркнуть, что сооружаемый в BNL коллайдер RHIC будет уникальной машиной для исследования не только столкновений релятивистских ядер, но и поляризованных протонов и возможно поляризованных протонов с дейтронами и ядрами.

Коллайдер RHIC даст физикам уникальные возможности для изучения столкновений поляризованных протонов при энергиях $\sqrt{s} = 50 \div 500 \text{ GeV}$ с высокой светимостью вплоть до $L = 2 \cdot 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ с поляризацией каждого из пучков до 70%. Эти параметры позволят даже за месяц работы ускорителя достичь уровня сечений порядка 50 pb^{-1} , что позволит выполнить изучение спин зависящих явлений в QCD и электрослабых взаимодействиях с высокой точностью, которую нельзя достичь на существующих ускорителях и установках.

Отметим, что интерес к спиновым явлениям при высоких и сверхвысоких энергиях является естественным для физиков ЛВЭ ОИЯИ. Это есть естественное продолжение поляризационной программы на ускорительном комплексе ЛВЭ, где были ускорены поляризованные пучки дейтронов рекордных энергий. Поляризационная программа ЛВЭ связана с изучением поляризованной ядерной материи, и в частности, поляризованного дейтрона на малых межнуклонных расстояниях, когда доминируют ненуклонные и кварковые степени свободы и спиновые эффекты становятся чрезвычайно важными.

Краткое изложение программы исследований с поляризованными протонами на RHIC мы вынесли в приложение 2.

В приложении 3 содержится списание предложений по спиновой физике с поляризованными протонами для STAR детектора.

Подробная программа изучения спиновых явлений в различных процессах представлена спиновой коллаборацией в Proposal on Spin Physics Using the RHIC Polarized Collider.

Цель поляризационных экспериментов получить информацию о продольных и поперечных распределениях кварков и глюонов в протоне, о спиновых корреляциях глюонных и кварковых полей, о нарушении четности при рождении W и Z бозонов и согласованности представлений взаимодействий частиц в рамках Standard Model и КХД.

2. Спиновая физика в протон-протонных столкновениях

В экспериментах на протонных пучках планируется изучение асимметрии прямого рождения фотонов и струй в $\vec{p} - \vec{p}$ -взаимодействиях и двухструйных событий в реакции $\vec{p}\vec{p} \rightarrow Jet_1 + Jet_2 + X$.

Цель этих экспериментов получения информации о глюонной структурной функции $\Delta G(x, Q^2)$.

Измерения морских партонных спинзависимых функций распределения планируется в экспериментах по рождению лептонных пар в реакции $\vec{p}\vec{p} \rightarrow l^+l^- + X$

Цель этих экспериментов получить информацию о поляризации морских кварков. Эксперименты EMC, SLAC, SMC показали, что глюоны и морские кварки переносят значительную часть спина протона и странные кварки могут быть сильно поляризованы. Поляризационные эксперименты в процессах с рождением лептонных пар позволят проверить предсказания моделей о величине этой поляризации.

Изучение поперечных кварковых распределений в протоне планируется в экспериментах по измерению рождения электронных пар в реакции $\vec{p}\vec{p} \rightarrow l^+l^- + X$ с поперечными поляризованными протонами.

Изучение односпиновой поперечной асимметрии рождения прямых фотонов и π^0 мезонов планируется в процессах $\vec{p}p \rightarrow \gamma X$ и $\vec{p}p \rightarrow \pi^0 X$. Такие эксперименты дадут важную информацию о новых структурных функциях - корреляторах twist-3.

Исследования односпиновых асимметрий при рождении W^\pm и Z^0 бозонов позволят изучить КХД структуру протона и подтвердить Standard Model в процессах с поляризованными протонами.

3. Спиновая физика в протон-ядерных взаимодействиях

Влияние ядерной среды на процессы взаимодействия, роль спиновых степеней свободы в ядрах, исследование механизмов поляризации и влияние непертурбативных эффектов и структуры вакуума при рождении адронов, содержащих морские кварки могут быть исследованы при взаимодействии поляризованных протонов с ядрами.

Предлагаются эксперименты по измерению односпиновых асимметрий процесса $\vec{p}A \rightarrow \pi, K, \text{гиперон} + X$, поперечной поляризации гиперонов в $p-A$ взаимодействиях и процессах с передачей спина.

Цель этих экспериментов получить информацию о механизмах поляризации и передачи спина, используя ядро как дополнительный инструмент, позволяющий отфильтровать процессы, идущие с большим сечением поглощения.

4. Спиновая физика в ядро-ядерных взаимодействиях

Предполагается, что при столкновениях тяжелых ионов образуется кварк-глюонная плазма. Возможно, что кварк-глюонная фаза не однородна и содержит компоненту, связанную с непертурбативными вакуумными флуктуациями глюонного поля. Такая компонента может быть обнаружена в экспериментах по измерению поперечной поляризации гиперонов в $A-A$ взаимодействиях. Величина поляризации гиперонов может служить сигнатурой непертурбативной компоненты кварк-глюонной плазмы и нести информацию о различных стадиях процесса перехода кварк-глюонной фазы в адронную и величине нарушения киральной симметрии.

Предлагаются эксперименты по измерению поляризации гиперонов в $A-A$ взаимодействиях, которые дадут новую независимую информацию о состоянии и процессе образования кварк-глюонной плазмы.

5. Развитие теории спиновых явлений в КХД

Выход за рамки пертурбативной КХД осуществляется путем учета высших твистов и новых структурных функций - корреляторов. Это направление разрабатывается А.Ефремовым, О.Теряевым с соавторами.

1. Проведены предсказательные расчеты асимметрии процессов $\vec{p} + N \rightarrow \gamma + X$, $\vec{p} + N \rightarrow \pi^0 + X$, $\vec{p} + N \rightarrow jet + X$, связанных с коррелятором twist-3. Предсказан качественный эффект - отличие знаков асимметрий для рождения прямых фотонов и струй, обусловленный отличием групп симметрии для электромагнитного и цветового взаимодействия.
2. Исследована принципиальная возможность измерения новой структурной функции - transversity.
3. Разрабатывается единый подход к описанию струй в $\vec{p} - \vec{p}$ взаимодействиях и их анализ на основе handedness.

Анализ диффракционных процессов основанный на изучении спиновой структуры кварк-померонной вершины развивается в работах С.Голоскокого и О.Селюгина.

1. В рамках приближения двух-глюонного обмена получена общая структура кварк-померонной вершины, включающей спин-флиповую часть.
2. Проведены предсказательные расчеты асимметрии рождения $q\bar{q}$ -пар в $\vec{p} - \vec{p}$ взаимодействиях. Исследована Q^2 -зависимость асимметрий для энергий AGS и RHIC. Показано, что асимметрия чувствительна к массам кварков, участвующим в кварк-померонном взаимодействии.
3. Разрабатывается единый подход к описанию упругих и диффракционных процессов, основанный на анализе спин-флиповой части померонной амплитуды.

Изучение непертурбативного механизма кварк-кваркового взаимодействия, индуцированного инстантонами и его вклад в поляризационные наблюдаемые исследуется в работах А.Дорохова и Н.Кочелева. Показано, что вклад этого механизма существенен при анализе экспериментальных данных процессов глубоко-неупругого рассеяния и асимметрии рождения лептонных пар. Он также используется для проверки КХД правил сумм.

Учет релятивистских ядерных эффектов при описании спиновой структуры дейтрона в процессах $D - p$ фрагментации, кумулятивных процессах, глубоко-неупругих процессах, анализ экспериментальных данных по извлечению спин-зависимых и спин-независимых структурных функций нейтрона осуществляется в работах М.В.Токарева. В рамках развиваемого им ковариантного подхода в переменных светового конуса сделаны предсказания для постановки новых экспериментов на ускорительном комплексе ЛВЭ, предполагается использовать этот подход для планирования экспериментов на AGS и RHIC с поляризованными и неполяризованными дейтронами.

6. Поляризационная ядерная программа для RHIC

На коллайдере RHIC существует принципиальная возможность для реализации несимметричной моды столкновений поляризованной и неполяризованных протонов с ядрами. Это открывает принципиально новые возможности как по исследованию поляризационных явлений в релятивистской ядерной физике, так и по извлечению спинзависящих структурных функций нейтрона.

Физики ЛВЭ и ЛТФ подготовили совместное дополнение в программу поляризационных исследований на RHIC, связанную с изучением поляризационных явлений в релятивистской ядерной физике и физике частиц.

Этот документ зарегистрирован как нота RHIC спин коллаборации и содержится в приложении 4. Работа над развитием "Поляризационной ядерной программы" продолжается и естественно будет продолжаться и в дальнейшем совместно с физиками RHIC спин коллаборации в которую группа ЛВЭ была принята в 1993 году.

7. Участие в создании STAR детектора

В августе 1994 года ЛВЭ была принята в STAR коллаборацию. Для проведения исследований по спиновой физике на RHIC необходима существенная модернизация STAR детектора. В первую очередь речь идет о включении в состав установки STAR электромагнитного калориметра, который является одним из основных узлов установки необходимых для осуществления поляризационных экспериментов.

В настоящее время подготовлен и направлен на экспертизу в DOE проект электромагнитного калориметра для STAR (см. приложение 5). Предполагается, что наряду с BNL, LBL, ANL и рядом университетов США физики России (Дубна, ИФВЭ) внесут определяющий вклад в создание электромагнитного калориметра для STAR.

Интересы ИФВЭ связаны с созданием Barrel EMC, интересы ОИЯИ - с созданием Endcap EMC. В соответствии с рекомендациями предыдущего заседания ПКК интересы обеих групп (ЛВЭ и ЛСВЭ), принятых в коллаборацию STAR, сконцентрированы в рамках единого проекта в STAR-коллаборации - создания Endcap электромагнитного калориметра. По предполагаемому распределению обязанностей в коллаборации STAR группа ЛВЭ будет отвечать за создание детектора максимума ливня для Endcap электромагнитного калориметра.

В настоящее время рассматривается два возможных варианта детектора максимума ливня - сцинтилляционный и газовый. Мы считаем, что выбор окончательного варианта можно будет сделать в 1996 году после проведения R& D, создания прототипа и его испытаний на пучке.

Однако для нас крайне важно, чтобы финансирование работ по R& D было начато уже в 1995 году. Наше предложение по концепции газового варианта детектора максимума ливня и предложения в программу по R& D содержится в приложении 6.

Эксперименты на пучках поляризованных и неполяризованных протонов на AGS

Возможность проведения экспериментов на AGS с пучками поляризованных протонов при более высоких энергиях чем на Дубненском синхрофазотроне является существенным шагом к подготовке поляризационных экспериментов на RHIC.

Особенный интерес для нас представляют исследования цветовой ядерной прозрачности и кумулятивного рождения частиц в протон-ядерных реакциях, особенно с пучками поляризованных протонов и дейтериевой мишенью.

EVA-спектрометр (эксперимент E850 в BNL) с нашей точки зрения представляет прекрасные возможности для проведения этих исследований по изучению ядерной структуры и механизма адрон-ядерных взаимодействий в инклюзивных, эксклюзивных и корреляционных экспериментах.

Мы предлагаем дополнить исследовательскую программу EVA-коллаборации следующими экспериментами:

1. Ядерные эффекты в реакции $p + A \rightarrow pp + X$ при больших передачах и гипотеза цветовой прозрачности ядер

Изучение ядерных эффектов в реакции $p + A \rightarrow pp + X$ в квазиупругой кинематике при больших передачах представляет интерес для проверки гипотезы цветовой прозрачности ядер.

Сечения упругого $p - p$ рассеяния при больших передачах характеризуется зависимостью предсказываемой правилом кваркового счета. Эта зависимость связана с вероятностью существования протона в области $\sim 1/\sqrt{s}$, определяющей характерный размер

конфигурации слабо поглощаемой ядерной средой. Проверка этой гипотезы и изучение ядерных эффектов (ферми движения, механизма перерасеяний, релятивистских эффектов) представляет интерес для понимания механизма ядерной прозрачности.

Планируется участие в эксперименте E850 на AGS в Брукхейвене по измерению отношения сечений в реакции $p + A \rightarrow pp + X$ к сечению на свободных протонах.

1. Проведено предварительное Monte-Carlo моделирование отношения

$$T(p_L) = \frac{1}{A} \cdot \frac{d\sigma(pA \rightarrow ppX)}{d\sigma(pp \rightarrow pp)}$$

при энергиях AGS для ядра Al. Показано, что ядерные эффекты ферми движения и механизма перерасеяний существенны для описания отношения $T(p_L)$.

2. Проведены предсказательные расчеты ядерной прозрачности и forward-backward асимметрии для процесса $p + A \rightarrow pp + X$. Предсказывается усиление асимметрии процесса с ростом импульса спектаторного нуклона. Полученные результаты предполагается использовать для планирования эксперимента на спектрометре EVA с дейтериевой мишенью.
3. Планируется проведение Monte-Carlo моделирования ядерной прозрачности (отношения $T(p_L)$) для ядер C, Cu, Pb для будущих экспериментов на AGS.

2. Односпиновые асимметрии в $\vec{p} + A$ взаимодействиях и механизм поляризации

Изучение односпиновых асимметрий в $\vec{p} - p$ и $\vec{p} - A$ взаимодействиях представляет интерес для проверки и изучения механизмов поляризации и влияния роли ядерной среды на процессы адронизации с учетом спиновых степеней свободы.

Эксперименты, проведенные в Brookhaven, CERN, Fermilab, показали, что односпиновые пионные асимметрия в $\vec{p} + p$ взаимодействиях весьма значительны и растут с x_F и k_{\perp} . Установлена сильная корреляция знака асимметрии и заряда π -мезона.

Проверка механизма поляризации и изучение ядерных эффектов (ферми движения, механизма перерасеяний) представляет интерес для понимания механизма ядерной прозрачности и роли непертурбативных эффектов в протон-ядерных взаимодействиях.

1. Проведено предварительное Monte-Carlo моделирование односпиновых асимметрий A_N процесса $\vec{p} + A \rightarrow \pi^{\pm,0} + X$ и исследована их x_F и p_{\perp} зависимость при энергии 28 и 200 GeV.
2. Планируется исследование поведения асимметрий от относительного вклада пертурбативной и непертурбативной компонент взаимодействия.

Мы предлагаем провести измерения A -зависимости асимметрии различных адронов и резонансов. Нам кажется очень интересным изучить "корреляцию" цветовой ядерной прозрачности и асимметрии. Мы считаем, что чрезвычайно важно провести измерение с поляризованными протонами на различных ядрах, т.е. использовать ядерную сферу как фильтр пертурбативной и непертурбативной компоненты взаимодействий.

3. Планируется проведение Monte-Carlo моделирования односпиновых π -мезонных асимметрий для ядер Cu, Ag, Pb для будущих экспериментов на AGS и RHIC.

3. Исследование динамических корреляций

Предлагается исследование нового типа динамических корреляций – корреляций кумулятивных частиц и частицы с $p_T \geq 1$ ГэВ/с, предсказанных В.С. Ставинским. В рамках его модели предполагается, что кумулятивные процессы при больших порядках кумулятивности и процессы с большой передачей импульса описываются единой универсальной функцией, зависящей от минимально возможно полной энергии сталкивающихся конститuentов определяемой кинематикой рождения инклюзивной частицы.

4. Изучение фрагментации дейтронов с пучками поляризованных протонов.

Этот эксперимент может дать нам информацию о высокоимпульсной компоненте дейтронной волновой функции, спиновой структуре дейтрона (S – D – и P – волновые компоненты) и механизме поляризации в кумулятивной области.

Мы предлагаем изучить поляризационные ядерные эффекты в pD –взаимодействиях и сравнить их с поляризационными эффектами в глубоконеупругом лептон-дейтронном рассеянии g_1^D/g_1^N . Эти исследования могут дать нам информацию о влиянии ядерной материи на механизм поляризации на свободном и ядерной нуклоне в некумулятивной области ($x < 1$). В кумулятивной области мы надеемся получить информацию о поляризационном механизме на многокварковом конфигурациях.

Заключение

В предыдущие годы в ОИЯИ были получены важные экспериментальные и теоретические результаты по исследованию спиновых явлений в релятивистской ядерной физике и физике частиц. Главная цель выполненных исследований изучение фундаментальных свойств поляризованной ядерной материи, спин-зависящих структурных функций и непертурбативных эффектов в КХД.

Мы глубоко убеждены в том, что продолжение исследования поляризационных явлений в релятивистской ядерной физике и физике частиц на НУКЛОТРОНЕ-AGS-RHIC является одной из наиболее важных и перспективных задач для ОИЯИ на 1996-2000 гг. по изучению фундаментальных свойств ядерной материи.

**Список сотрудников ЛВЭ, ЛТФ и ЛВТА
принимающих участие в подготовке "Программы
поляризованных исследований в релятивистской
ядерной физике и физике частиц" для RHIC- спин
коллорабации и STAR-коллорабации.**

Лаборатория высоких энергий

Г.С.Аверичев, Г. Агакишиев, М.Э.Асанова, Р. Бадалян,
Ю.Т.Борзунов, В.П.Ладыгин, В.В.Глаголев, Л.Б.Голованов,
Д.Е.Донец, Ю.В.Заневский, И.Зборовский, Л.С.Золин,
А.А.Ершов, О.Киселев, А.Д.Коваленко, Е.А.Матюшевский,
Ю.И.Минаев, Н.С.Мороз, Ю.А.Панебратцев, М. Пенця,
Н.М.Пискунов, Е.В.Потребенникова, С.В.Разин, И.М.Ситник,
Н.В.Славин, Л.П.Смыков, Е.А.Строковский, Л.Н.Струнов,
М.Сулейманов, М.В.Токарев, И.О.Цветков, А.П.Цвинец,
О.В.Фатеев, С.П.Черненко, В.И.Юревич, В.И.Шаров, Э.Шахалиев
С.С.Шиманский,

Лаборатория вычислительной техники и автоматизации

С.Багинян, Ж.Ж.Мусульманбеков, Е.Г.Никонов, Г.А.Ососков,
А.М.Хасанов,

Лаборатория теоретической физики им.Н.Н.Боголюбова

С.В.Голоскоков, А.Е.Дорохов, А.В.Ефремов, Н.И.Кочелев,
О.В.Селюгин, О.В.Теряев.