

Отзыв

Официального оппонента, Нурушева Сандибека Байтемировича, на кандидатскую диссертацию Наумова Дмитрия Вадимовича “Рождение странных адронов и поляризация Λ^0 и $\bar{\Lambda}^0$ гиперонов в нейтринных взаимодействиях в эксперименте NOMAD”, представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.06 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

Диссертация Д.В. Наумова посвящена одной из актуальных проблем физики элементарных частиц и атомного ядра, а именно, исследованию образования странных адронов и поляризации Λ^0 и $\bar{\Lambda}^0$ гиперонов в глубоконеупругом взаимодействии (ГНВ) мюонных нейтрино с нуклонами по каналу заряженного тока. Интерес к таким исследованиям обусловлен двумя причинами. Во-первых, такие данные поддаются более прозрачной интерпретации на уровне партонных моделей, чем аналогичные данные на адронных пучках. Во-вторых, экспериментальные данные по ГНВ лептонов с нуклонами являются базой для развития таких фундаментальных теоретических моделей, как LUND, JETSET и т.д. Материалы диссертации изложены в 8-ми главах, в заключении, в 2-х приложениях. Диссертация включает также 118 ссылок на научные публикации, список таблиц и список иллюстрации. Общий объём диссертации составляет 214 страниц. Научные результаты, лёгшие в основу настоящей диссертации, опубликованы в 5 научных статьях, а также были представлены на многих международных научных конференциях.

Соискатель начинает диссертацию с обзорной главы 1, посвященной спиновому кризису и наивной кварковой модели. Здесь он со знанием дела излагает современное состояние проблем и некоторые пути их решений.

Во 2-ой главе диссертант приводит краткий обзор экспериментов и теоретических моделей по изучению поперечной и продольной поляризаций Λ и $\bar{\Lambda}^0$ гиперонов и обосновывает важность проведения таких же измерений в ГНВ нейтрино на нуклонах. 3-я глава диссертации посвящена подробному описанию детектора NOMAD. Здесь же приведены параметры нейтринного пучка, используемого в дальнейших измерениях. В 4-ой главе соискатель даёт подробное изложение оригинального метода реконструкции нейтринных событий и идентификации V^0 - вершин. Так как основным прибором при этих измерениях служили магнитный спектрометр с дрейфовыми камерами, то диссертантом были приложены усилия для получения на этом приборе высокой эффективности реконструкций (~ 85%)

нейтринных событий по каналу заряженного тока. Причём примесь фоновых событий оказалась незначительной ($\sim 0.4\%$). В этой же главе детально рассмотрены различные источники ошибок в идентификации нейтральных странных частиц (Λ^0 , K_s^0 , $\bar{\Lambda}^0$), распадающихся по V^0 -моде, причем полная статистика настоящей работы превышает в 30 раз всю мировую статистику, накопленную ранее на пузырьковых камерах. В 5-ой главе диссертант излагает разработанный им метод MC NOMAD, достаточно хорошо описывающий глобальные характеристики рождения и распада нейтральных странных частиц на экспериментальной установке NOMAD. При этом учтены внутриядерные перерасеяния частиц, а также параметр χ_s установлен равным 0.21 с целью согласования модельных расчетов с экспериментальными данными. Изучено влияние процедуры реконструкции треков и V^0 – вершин на переменные, описывающие поведение нейтральных странных частиц в адронной струе. В 6-ой главе соискателем были подробно изучены свойства нейтральных странных частиц и странных резонансов (и более тяжелых странных адронов), распадающихся по V^0 моде. Измерены интегральные и дифференциальные выходы Λ^0 , K_s^0 , $\bar{\Lambda}^0$, при этом дифференциальные выходы $\bar{\Lambda}^0$ гиперонов измерены впервые в нейтринных взаимодействиях. Изучены χ_F , p_T^2 , z_v распределения V^0 частиц, проведено сравнение с предыдущими экспериментами. Измерены отношения резонанс / V^0 для $K^{*\pm}, \Sigma^{*\pm}, \Sigma^0, \Xi^0$. Обнаружено существенное отличие в выходах странных адронов от предсказаний модели ЛУНД. Обнаруженное отличие в выходе Σ^{*+} (и некоторых других адронов) принципиально важно для корректной теоретической интерпретации поляризационных явлений.

В 7-ой главе автором определена система координат, в которой проводится измерение поляризации Λ^0 , и $\bar{\Lambda}^0$ гиперонов и асимметрии в распределении K_s^0 мезонов.

Подробно изучены эффекты, к которым приводит реконструкция треков. Обсужден стандартный метод измерения поляризации и границы его применимости. Предложен новый метод восстановления сразу трех компонент вектора поляризации, свободный от недостатков стандартного метода, и обладающий рядом практических удобств. Продемонстрирована работоспособность программы, реализующей этот метод. Количественно изучено влияние фона в случае его отклонения от предсказаний MC. Продемонстрирована стабильность программы идентификации V^0 частиц по отношению к измерению поляризации V^0 частиц при изменении фона в широком диапазоне. В этой главе были также рассмотрены различные источники систематических ошибок при измерении поляризации Λ^0 и $\bar{\Lambda}^0$ гиперонов во взаимодействиях через заряженный ток. Установлено, что основная систематическая ошибка

возникает из-за неправильно предсказанного фона. Тем не менее, полная систематическая ошибка оказывается меньше статистической.

В завершающей 8-ой главе соискателем были представлены результаты измерения векторов поляризации Λ^0 и $\bar{\Lambda}^0$ гиперонов. Обнаружена отрицательная продольная и отрицательная поперечная компоненты вектора поляризации Λ^0 гиперонов. Модуль продольной поляризации Λ^0 увеличивается в области фрагментации мишени. Это находится в качественном согласии с предсказаниями модели поляризованной странности в нуклоне. Значение продольной поляризации Λ^0 в области фрагментации тока позволяет оценить коэффициент передачи спина от u-кварка к Λ^0 гиперону. Результат измерения согласуется с предсказаниями в рамках SU(6) модели с учетом промежуточных тяжелых гиперонов, распадающихся на Λ^0 в конечном состоянии, и противоречит вычислениям для модели Буркардта-Джаффе.

Зависимость от p_T и x_F обнаруженной впервые в нейтринных экспериментах поперечной поляризации Λ^0 аналогична поведению поперечной поляризации Λ^0 гиперонов, рожденных в адронных экспериментах. Это может свидетельствовать в пользу того, что в обоих случаях работают схожие механизмы.

Третья компонента вектора поляризации Λ^0 гиперонов сопоставима с нулем.

Исследована зависимость вектора поляризации от различных кинематических переменных и от типа нуклона мишени.

Вектор поляризации $\bar{\Lambda}^0$ гиперонов, измеренный впервые в нейтринных экспериментах, сравним с нулевым.

Как убедительно показывают изложенные в диссертации материалы постановка эксперимента, техника обработки данных выполнены на высоком научном уровне и достоверность полученных соискателем результатов не вызывает никакого сомнения.

Основными вкладами диссертанта в настоящую работу являются следующие пункты.

1. В дрейфовых камерах магнитного детектора NOMAD с электронным съемом информации зарегистрировано 15075 распадов K_s^0 мезонов, 8087 Λ^0 и 649 $\bar{\Lambda}^0$ гиперонов, образованных в нейтринных взаимодействиях по каналу заряженного тока. Как уже отмечалось ранее, указанная статистика превышает на порядок количество событий, накопленных ранее в экспериментах с пузырьковыми камерами.
2. Предложена и реализована оригинальная процедура идентификации нейтральных странных частиц на основе кинематического фита V^0 вершин.

3. Предложен и реализован новый метод измерения одновременно всех трех проекций вектора поляризации, с учетом эффективности реконструкции треков и акцептанса детектора.
4. Измерены интегральные выходы K_s^0 мезонов, Λ^0 и $\bar{\Lambda}^0$ гиперонов в ν_μ N ГНВ по каналу заряженного тока. Обнаружено отличие измеренных выходов от предсказаний модели ЛУНД на уровне 40-60%.
5. Измерены дифференциальные выходы K_s^0 мезонов, Λ^0 и $\bar{\Lambda}^0$ гиперонов в ν_μ N ГНВ по каналу заряженного тока как функции E_ν , W^2 , Q^2 , x , y . Дифференциальные выходы $\bar{\Lambda}^0$ гиперонов измерены впервые в ν_μ N ГНВ.
6. Изучены распределения по переменным x_F , p_T , z_V характеризующим поведение K_s^0 мезонов, Λ^0 и $\bar{\Lambda}^0$ гиперонов в адронной струе, в ν_μ N ГНВ по каналу заряженного тока (КЗТ). Найдены следующие величины: параметры асимметрии в распределениях по переменной x_F и средние значения $\langle x_F \rangle$, $\langle z \rangle$, параметр наклона p_T^2 -распределений.
7. Измерены выходы $\Sigma^{*\pm}$, Σ^0 , E^- барионов и $k^{*\pm}$ мезонов по отношению к выходам Λ^0 гиперонов и k_s^0 мезонов соответственно, в ν_μ N ГНВ по каналу заряженного тока. Обнаружено, что относительные выходы в данных меньше по сравнению с предсказаниями модели ЛУНД на факторы $3.3 \pm 0.3(\Sigma^{*+})$, $1.7 \pm 0.3(\Sigma^{*-})$, $1.8 \pm 0.5(\Sigma^0)$, что очень важно для правильной теоретической интерпретации измерения поляризации Λ^0 гиперонов и на факторы 2.0 ± 0.1 и 1.5 ± 0.1 для K^{*+} и K^{*-} мезонов соответственно.
8. Измерен вектор поляризации Λ^0 гиперонов, рожденных в ν_μ N ГНВ по КЗТ. Детально исследованы систематические ошибки при измерении вектора поляризации Λ^0 гиперонов. Увеличение абсолютного значения продольной поляризации Λ^0 гиперонов в области фрагментации мишени

$$P_x(x_F < 0) = -0.21 \pm 0.04(\text{стат.}) \pm 0.02(\text{сис.})$$

согласуется с предсказаниями модели поляризованной странности в нуклоне. Измерение продольной поляризации Λ^0 гиперонов в области фрагментации тока ($x_F > 0$) позволяет оценить коэффициент передачи спина $C_u^{\Lambda^0} = 0.09 \pm 0.06(\text{стат.}) \pm 0.03(\text{сис.})$ при $\langle z \rangle = 0.44$. Это значение не противоречит предсказаниям наивной кварковой модели и не согласуется с моделью Буркардта-Джаффе.

9. Впервые в нейтринных экспериментах обнаружена ненулевая поперечная поляризация Λ^0 гиперонов, модуль которой увеличивается в области фрагментации мишени:

$$P_y(x_F < 0) = -0.26 \pm 0.04(\text{стат.}) \pm 0.01(\text{сис.})$$

Знак поперечной поляризации Λ^0 гиперонов, рожденных в области фрагментации мишени, и ее зависимость от x_F и p_T качественно повторяет поведение поперечной поляризации Λ^0 гиперонов, рожденных в адронных экспериментах.

10. Обнаружена существенная зависимость продольной и поперечной компонент вектора поляризации Λ^0 гиперонов от типа нуклона мишени (протон, нейтрон).
11. Впервые в нейтринных экспериментах измерен вектор поляризации $\bar{\Lambda}^0$ гиперонов, рожденных в $\nu_\mu N$ ГНВ по каналу заряженного тока. Вектор поляризации $\bar{\Lambda}^0$ гиперонов совместим с нулевым.

Вместе с тем считаю необходимым сделать следующие критические замечания по материалам диссертации:

1) в заглавии диссертации заявлены две научные темы «Рождение странных адронов и поляризация Λ^0 и $\bar{\Lambda}^0$ гиперонов в нейтринных взаимодействиях в эксперименте NOMAD».

Однако, 1-ая часть работы не нашла детального физического обоснования в настоящей диссертации, хотя в заключении экспериментальные результаты диссертанта по измерениям выходов странных частиц нашли достаточно полное отражение. Однако заметный крен все таки сделан в сторону 2-ой части;

2) вывод о том, что выходы странных частиц в эксперименте NOMAD приблизительно в 1,5 раз ниже, чем предсказывается моделью LUND, не подкреплён дополнительными теоретическими и экспериментальными аргументами. Особенно важно обосновать, к каким количественным изменениям может привести этот вывод в применении к поляризации гиперонов;

3) на стр.172 диссертации написано: “Зависимость от p_T и x_F обнаруженной впервые в нейтринных экспериментах поперечной поляризации Λ^0 находится в согласии с хорошо установленной зависимостью поперечной поляризации Λ^0 гиперонов, рожденных в адронных экспериментах, что свидетельствует в пользу того, что мы имеем дело со схожим явлением”. Нельзя в данном случае использовать словосочетание “в согласии с”, так как нет оснований для этого: из результатов адронных опытов по поляризации Λ^0 нельзя предсказать соответствующие результаты по поляризации в нейтринных экспериментах;

4) диссертация неоправданно перегружена иностранными терминами, хотя многие из них имеют русские эквиваленты. Например, слово DIS имеет эквивалент ГНР (глубоко неупругое рассеяние), слово CC тождественно термину «заряженный ток». Кстати, на стр. 13 диссертации соискатель даёт нужные переводы терминов, однако в тексте их не

использует. Много рисунков также приведено на английском, хотя подписи к рисункам оформлены на русском.

5) есть ряд небольших опечаток. Так, в формуле 2.2 на стр. 28 допущена опечатка. Есть в тексте и неудачные фразы типа: “правильная оценка отношения τ_h является достаточно тонким вопросом” (стр. 103). Или “обнаружено принципиально важное отличие ...важно для ...” (стр. 132). Неудачно оформлена Таблица 6.3 на стр. 103. Таблицы 6.9 и 6.10 на стр. 122 содержат непонятную фразу “область фрагментации k_s^0 мезонов”. Ведь фрагментирует либо ток, либо мишень, а не k_s^0 .

Указанные выше недостатки не являются принципиальными и ни в коей мере не умаляют научную значимость результатов, полученных диссертантом. Д.В. Наумов представил к защите экспериментальные результаты высокого класса и они являются пионерскими. Эти результаты, без сомнения, найдут практическое приложение при разработке новых теоретических моделей и экспериментальных программ на новых поколениях коллайдеров.

Диссертация отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор Дмитрий Вадимович Наумов заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.06 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

Автореферат правильно отражает содержание кандидатской диссертации.

Официальный оппонент

доктор физико-математических наук, профессор С. Б. Нурушев.

Подпись С. Б. Нурушева подтверждаю:

ученый секретарь ИФВЭ, кандидат физико-математических наук,

Ю. Г. Рябов.