

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора физико-математических наук Курочкина Юрия Андреевича на диссертацию Гаузштейна В.В. «Экспериментальное изучение фотообразования пи-мезонов на тензорно-поляризованных дейтронах», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц в диссертационный совет ДС.ТПУ.05 при Национальном исследовательском Томском политехническом университете.

Актуальность темы

Особенностью современного этапа развития физики частиц и ядерной физики является усиленное внимание к процессам при экстремально высоких значениях энергий и плотностей массы-энергии как в лабораторных условиях (например LHC, RHIC и др.) так и в астрофизических явлениях. В этой погоне за высокими энергиями часто в стороне от внимания многих физиков остаются интересные результаты как уже получаемые так уже и полученные ранее при средних энергиях. Данные, полученные при средних энергиях не менее важны для создания единой картины мира, чем получаемы при высоких.

В частности к таким относятся данные о процессах электромагнитного образования мезонов на нуклонах и легких ядрах, которые традиционно занимают значительное место в программах научных исследований в физике промежуточных энергий. Интерес к ним обусловлен, прежде всего, новыми экспериментальными возможностями, в частности, развитыми сегодня эффективными методами регистрации частиц с малым временем жизни, а также успехами, достигнутыми в последнее время при создании поляризованных мишеней с высокой степенью поляризации.

На сегодняшний день имеется небольшое количество экспериментальных данных по фоторождению пи-мезонов на дейтронах в двух зарядовых каналах $\gamma d \rightarrow p p \pi^-$, $\gamma d \rightarrow p n \pi^0$ и $\gamma d \rightarrow d \pi^0$. Однако, практически все имеющиеся измерения относятся к неполяризованным сечениям, что недостаточно для получения объективной информации о механизмах этих реакций. Поэтому необходимы новые данные, в первую очередь, для поляризационных наблюдаемых, которые, как хорошо известно, более чувствительны к проявлениям структуры адронов, особенностям их взаимодействий и, тем самым, дают важную информацию для уточнения теоретических моделей.

Характеристика содержания диссертации

Диссертация соответствует специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

Диссертация В.В. Гаузштейна состоит из введения, четырех глав, заключения. В ней 140 стр. и 70 рисунков. Используемая библиография включает 124 названия.

В диссертации Гаузштейна В.В. решены важные проблемы фотомезонной физики промежуточных энергий. Прежде всего, широко охвачены процессы фоторождения заряженных и нейтральных пионов на дейтронах. Особая актуальность представленных в работе результатов и выводов связана с тем обстоятельством, что за последние несколько лет построено много новых моделей процессов фоторождения, нацеленных, в частности, на исследование поляризационных наблюдаемых этих реакций, которые позволяют определить целый ряд до сих пор неизвестных параметров в физике адронов. Требуются новые экспериментальные данные для определения и уточнения данных моделей. Так, например, в работе автором впервые продемонстрирована важнейшая роль эффектов взаимодействия в конечном состоянии в процессах квазисвободного образования пи- мезонов на дейтроне.

В **первой главе** диссертации приведены основные особенности постановки поляризационных экспериментов на электрон-позитронном накопителе ВЭПП-3 ИЯФ им. Будкера СО РАН г. Новосибирска. Главной особенностью фотоядерных экспериментов, которым посвящена работа, является использование внутренней тензорно-поляризованной дейтериевой мишени. Газовая дейтериевая мишень была создана на основе нового криогенного источника поляризованных атомов (ИПА) дейтерия и накопительной ячейки. Использование криогеники позволяет за счет более эффективной вакуумной откачки добиться лучших условий формирования высокоинтенсивного сфокусированного потока поляризованных атомов дейтерия.

Во **второй главе** диссертации представлены результаты измерения тензорной анализирующей способности фоторождения отрицательно заряженных пионов на дейтроне $\gamma d \rightarrow p p \pi^-$. Прямое сравнение экспериментальных данных с теоретическими значениями асимметрии было проведено на основе статистического моделирования реакции $\gamma d \rightarrow p p \pi^-$ методом Монте-Карло. Важным результатом является то, что учет пион-нуклонного и нуклон-нуклонного перерасеяния приводит к существенному улучшению согласия между теорией и экспериментом.

В **третьей главе** представлены данные для компонент T_{20} , T_{21} и T_{22} тензорной анализирующей способности для реакций $\gamma d \rightarrow p p \pi^-$ и $\gamma d \rightarrow p n \pi^0$, приведена общая схема эксперимента, изложен метод идентификации и определения энергии частиц. Что особенно важно, автором проведена тщательная оценка неотделимого фона, возникающего, главным образом, от безмезонных процессов (фоторасщепления дейтрона), а также от процессов двойного фоторождения мезонов на дейтроне. Для идентификации вклада двухмезонных каналов автор прибегает к моделированию с использованием программного пакета GEANT4 и генератора фотореакций на дейтроне GENBOS. Сравнение с теорией показывает, что также как

и в случае с асимметрией, для обеих реакций имеется существенное улучшение описания при учете взаимодействия в подсистемах πN и NN в конечном состоянии.

Исследуются энергетические зависимости компонент T_{20} , T_{21} и T_{22} , а также их чувствительность к эффектам взаимодействия частиц в конечном состоянии. Вместо элементарной амплитуды $\gamma N \rightarrow N\pi$ диссертант использует сложный феноменологический анализ, в котором большое число параметров обеспечивает возможность учета не только достаточно сложного фонового механизма, но и принять во внимание такие существенные аспекты, как градиентная и релятивистская инвариантность и унитарность амплитуды. Последнее является особенно важным в области выше $\Delta(1232)$ резонанса, где в фоторождение пионов вовлекается большое количество резонансных состояний.

Четвертая глава посвящена измерению компоненты T_{20} тензорной анализирующей способности для когерентной реакции $\gamma d \rightarrow d\pi^0$. Как и в некогерентном канале, проведена оценка фона, основным источником которого в данном случае является реакция $\gamma d \rightarrow d\pi^0\pi^0$. Сравнение результатов для компоненты T_{20} с предсказаниями теории наглядно демонстрирует, что в когерентном канале существующие модели не обеспечивают надежное описание механизма реакции в области больших переданных импульсов. Заметное разногласие позволяет предположить, что имеются дополнительные неучтенные механизмы реакции, непосредственно связанные с фоторождением мезонов в кинематической области, соответствующей малым межнуклонным расстояниям, которые не учтены существующими сегодня теориями.

Резюмируя можно сказать, что в диссертации получены следующие новые результаты:

Выполнено первое наблюдение двойной поляризационной асимметрии реакции $\gamma d \rightarrow pp\pi^-$, связанной с тензорной поляризацией дейтрона и линейной поляризацией фотона в диапазоне энергий $(300 < E_\gamma < 500)$ МэВ. Впервые измерены компоненты T_{20}, T_{21}, T_{22} тензорной анализирующей способности реакции $\gamma d \rightarrow pp\pi^0$, для $(300 < E_\gamma < 500)$ МэВ. Впервые измерена T_{21} компонента тензорной анализирующей способности для реакции $\gamma d \rightarrow pp\pi^-$ для энергий $(300 < E_\gamma < 500)$ МэВ. Впервые измерена угловая зависимость T_{20} компонента тензорной анализирующей способности $\gamma d \rightarrow d\pi^0$ в диапазоне углов вылета π^0 - мезона $100^\circ < \theta_{\pi^0}^{\text{с.м.}} < 140^\circ$. Впервые измерена энергетическая зависимость T_{20} компонента тензорной анализирующей способности реакции $\gamma d \rightarrow d\pi^0$ в диапазоне энергий фотона $(200 < E_\gamma < 450)$ МэВ.

Следует отметить, что одним из наиболее ярких результатов работы, помимо собственно самих данных для компонент T_{2M} , является вывод о роли

взаимодействия в конечном состоянии в процессах некогерентного фоторождения пионов на дейтроне. Прежде всего, полученные в работе данные и результаты их сравнения с теорией позволяют автору убедительно аргументировать тезис о том, что взаимодействие в конечном состоянии в этих реакциях оказывает значительное влияние на величину и форму дифференциальных распределений. Что особенно важно, учет этого эффекта приводит к существенному улучшению согласия теоретических и экспериментальных результатов.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Положения и выводы диссертации хорошо обоснованы, подтверждаются согласием экспериментальных данных по фоторождению пионов на дейтроне с результатами расчетов в рамках модели квазисвободного фотообразования пионов с учетом взаимодействия в конечном состоянии, а также детальным анализом фоновых поправок к выходам реакций, систематических экспериментальных и модельных погрешностей.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов

До настоящего времени эксперименты по измерению компонент тензорной анализирующей способности в процессах фоторождения пи-мезонов на дейтроне не проводились. Таким образом, проведенные исследования будут способствовать нашему пониманию фундаментальных взаимодействий, дают первые экспериментальные данные, которые расширят существующую экспериментальную базу данных и значительно улучшат ее качество.

Достоверность результатов диссертации

Полученные в диссертации результаты достоверны. Результаты, полученные экспериментально находятся в хорошем согласии расчетами в рамках теоретических моделей, а когда намечается расхождение, в диссертации дается убедительное ему объяснение. Тем самым обеспечивается база для дальнейшего уточнения теоретических подходов. Основные результаты опубликованы в авторитетных международных (Eur.Jour. Phys., Intern. Jour. Modrn. Phys., Nucl. Phys., Few-Body-Systems) отечественных (Ядерная физика, Известия вузов. Физика, Известия РАН Сер. физическая) всего 18 публикаций.

Личный вклад соискателя

Под руководством автора, либо при его непосредственном участии, выполнен анализ экспериментальной статистики с трех экспериментов на ВЭПП-3. Получена

информация о тензорных поляризационных наблюдаемых для когерентного и некогерентного фоторождения нейтральных и отрицательно-заряженных пи-мезонов на дейтронах для энергии фотонов от 200 до 450 МэВ. В результате сравнения полученных результатов с теоретическими расчетами автором продемонстрировано, что учет нуклон-нуклонного и пион-нуклонного взаимодействия в конечном состоянии для некогерентного фоторождения пи-мезонов приводит к значительному улучшению согласия эксперимента и теории. Также можно сделать вывод, что используемые модели на основе импульсного приближения адекватно описывают полученные экспериментальные результаты.

Аннотация правильно отражает содержание диссертации.

Замечания по содержанию и оформлению диссертации

По оформлению диссертации можно сделать следующие замечания:

1. В диссертации отсутствует список докладов на конференциях, который наряду со списком работ, выполненных по теме диссертации, соавтором которых является соискатель, свидетельствовал бы о степени апробации работы. Хотя следует отметить, что ряд конференций, на которых представлены результаты работы, упоминается на стр. 18 диссертации.
2. Не единообразно оформлены подписи к рисункам на которых представлено сравнение экспериментальных данных с результатами моделирования. На некоторых указывается что точками обозначены экспериментальные данные (например, рис. 2.1, 2.10 есть), а почти у всех рисунков на которых представлены зависимости асимметрий от инвариантной массы конечных продуктов реакции или энергии фотона, а также зависимости компоненты тензорной анализирующей способности от энергии падающего фотона это не указано. Замечание касается текста диссертации и аннотации. Для аннотации это даже важнее чем для самой диссертации т.к. он предназначен для гораздо более широкой аудитории чем диссертация.
3. В диссертации присутствуют опечатки и опечатки. Так например, на стр.5 , в обозначении группы $SU(6) \otimes O(3)$ вместо O поставлен 0 , на стр.7 в подписи к рис.1 в обозначении Δ -изобары вместо 1 вписана I латинское.
4. Представляется интересным исследовать возможные ограничения, которые накладывает изотопическая симметрия на асимметрии и компоненты тензорных анализирующих способностей. Данное замечание следует рассматривать как пожелание на будущее.
5. В работе ничего не сказано о том, почему взаимодействие в конечном состоянии можно учитывать лишь с точностью до членов первого порядка по перерасеянию. Каковы при этом вклады более высоких порядков? Имеются ли работы, в которых эти вклады учтены или, хотя бы, дана их оценка.
6. Несколько странно звучит фраза на стр. 126 «Точности измерений T_{20} достаточно для частичной дискредитации теоретических расчетов».
7. В разделе «Литература» имеются опечатки. Это касается ссылок [3], [4], [31], [69], [84] и др.

Сделанные замечания не снижают общего положительного впечатления о диссертации и не снижают ее научной ценности. В целом диссертация хорошо

структурирована и четко освещает вклад самого автора. Автор в высокой степени владеет методами экспериментальной ядерной физики и внес значительный вклад в решение актуальных проблем физики промежуточных энергий..

Заключение

Диссертация Гаузштейна В.В. удовлетворяет требованиям п.п. 8-10 «Порядка присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете», утвержденным Приказом Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» от 06 декабря 2018 г. № 93/од., а ее автор, Гаузштейн Вячеслав Валерьевич, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16 - физика ядра и элементарных частиц:

за впервые полученные экспериментально данные для компонент T_{2M} тензорной анализирующей способности, установление зависимости и теоретическое объяснение их значений от энергии подающего фотона, заключение о необходимости учета взаимодействия в конечном состоянии в процессах некогерентного фоторождения пионов на дейтроне, что в совокупности является крупным вкладом в понимание процессов взаимодействия адронов при средних энергиях.

Отзыв составлен на 6 страницах.

Официальный оппонент:

Заведующий центром

«Фундаментальные взаимодействия и астрофизика»

ИНСТИТУТА ФИЗИКИ НАН Беларуси

Адрес: 220072, Республика Беларусь,
г. Минск, пр-т Независимости, 68-2
тел.: +375 (17) 270-87-55

e-mail: y.kurochkin@ifanbel.bas-net.by

доктор физико-математических наук

Ю.А. Курочкин

