

Проект «ПИОН»

Осуществляется в рамках Программы ОФН РАН «Физика элементарных частиц и фундаментальная ядерная физика»

В лаборатории мезонной физики ПИЯФ выполняются исследования по программе «Барионная спектроскопия на пучках пионов с энергией до 2000 МэВ». В рамках этой программы на π -мезонном канале синхроциклотрона ПИЯФ ранее был проведен цикл экспериментов по измерению дифференциальных сечений и поляризационных параметров P , A , R в упругом π^+p -рассеянии при многих энергиях в области низколежащих πN -резонансов. Полученные прецизионные данные послужили базой при проведении нового фазового анализа ПИЯФ. Один из важных результатов – впервые на основе фазового анализа обнаружено зарядовое расщепление в P_{33} -фазе и определены массы и ширины Δ^0 - и Δ^{++} -резонансов.

Несмотря на то, что πN -рассеяние изучается уже достаточно давно, до сих пор остается ряд нерешенных проблем. Даже для хорошо установленных резонансов $P_{11}(1440)$, $D_{13}(1520)$, $S_{11}(1535)$, которые имеют наивысший рейтинг ****, массы, ширины и скорости распада известны с недостаточной точностью. В то же время эти резонансы вызывают сейчас большой интерес. Так, существует мнение, что резонанс $P_{11}(1440)$ является суперпозицией обычного резонанса и гибридного резонанса, состоящего из трех кварков и глюона. Что касается резонанса $S_{11}(1535)$, то в последнее время идут острые дискуссии о его природе – является ли он истинным резонансом или это только пороговая аномалия, связанная с открыванием ηN -канала.

Ситуация с существующей базой экспериментальных данных такова: если упругие каналы (π^+p - и π^-p -рассеяние) исследованы достаточно хорошо, то данные по неупругим каналам (π^-p -рассеяние с перезарядкой, процесс образования η -мезона $\pi^-p \rightarrow \eta n$) весьма скудны и противоречивы. И представляемый проект имеет целью заполнить этот пробел в банке данных, измерив с высокой точностью дифференциальные сечения вышеупомянутых реакций в эксперименте на жидководородной мишени и значения асимметрии в эксперименте на поляризованной протонной мишени.

Для выполнения поставленных задач в ПИЯФ был разработан и изготовлен спектрометр нейтральных мезонов. Он представляет собой двухплечевую установку, каждое плечо которой – электромагнитный калориметр полного поглощения, состоящий из 24 кристаллов CsI(Na). Мозаичная структура калориметров позволяет измерить не только энергию, но и угол эмиссии попавшего в калориметр фотона, а, следовательно, восстановить кинематику распада $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ (или $\eta \rightarrow 2\gamma$) и на этой основе определить энергию и угол вылета π^0 -мезона (η -мезона), образовавшегося в результате реакции.

С помощью спектрометра нейтральных мезонов на π -мезонном канале синхроциклотрона ПИЯФ проведены измерения дифференциальных сечений π^-p -рассеяния с перезарядкой $\pi^-p \rightarrow \pi^0 n$ в области энергий налетающих пи-мезонов от 300 до 600 МэВ (соответствующие значения импульсов – от 417 до 725 МэВ/с), импульсный захват частиц в пучке $\Delta p/p = 6\%$. Измерения выполнены для углов рассеяния вперёд с использованием жидководородной мишени. В результате получены высокоточные данные по сечениям реакции перезарядки в той области энергий, где измерений не было до сих пор вообще, либо они были ненадежными и противоречивыми. Сопоставление полученных результатов с предсказаниями парциально-волновых анализов указывает на наличие заметных расхождений, особенно в области энергий 500–650 МэВ/с. Чтобы убедиться в значимости этих расхождений (которые могут быть свидетельством нарушения изоспиновой инвариантности в πN -рассеянии), планируется продолжить измерения при ещё меньших энергиях. Полученные результаты были доложены в сентябре 2003 г. на международной конференции по адронной спектроскопии (HADRON'2003) и опубликованы в журнале «Ядерная физика».

В рамках программы исследования процесса рождения η -мезона в околопороговой области на π -мезонном канале синхроциклотрона ПИЯФ выполнены с помощью спектрометра нейтральных мезонов измерения дифференциальных сечений реакции $\pi^- p \rightarrow \eta n$ при импульсах налетающих пионов вблизи порога этой реакции, который составляет 685 МэВ/с. Поскольку в околопороговой области сечение процесса резко растёт с импульсом налетающих пи-мезонов, импульсный захват в пучке был уменьшен при проведении этого эксперимента до 1,5% (полная ширина на полувысоте соответствующего распределения) с помощью вертикального щелевого коллиматора, помещённого в той части π -мезонного канала, в которой импульсная дисперсия максимальна.

Кинематика реакции $\pi^- p \rightarrow \eta n$ имеет существенные особенности. В области вблизи порога реакции η -мезоны, образующиеся в системе центра масс в широком диапазоне углов θ_{η}^{cm} от 0° до 180° , при переходе в лабораторную систему координат оказываются в узком угловом конусе. При последующем распаде η -мезонов $\eta \rightarrow 2\gamma$ фотоны испускаются в интервале углов от 0° до 180° (по отношению к импульсу η -мезона), но наиболее вероятен их симметричный разлёт. Эти кинематические особенности позволяют измерить с помощью спектрометра нейтральных мезонов ПИЯФ, имеющего ограниченный угловой захват, дифференциальные сечения реакции $\pi^- p \rightarrow \eta n$ в полном диапазоне углов от 0° до 180° в системе центра масс. Величина полного сечения вычислялась после этого путём интегрирования полученного дифференциального сечения по углу в с.ц.м.

В 2004-2006 гг. были выполнены измерения сечений реакции $\pi^- p \rightarrow \eta n$ при импульсах налетающих пи-мезонов 700 и 710 МэВ/с. Форма дифференциальных сечений, полученных при импульсах 700 и 710 МэВ/с, различается весьма существенно – в первом случае сечения практически изотропны по углу, во втором случае угловая зависимость анизотропна, но симметрична относительно $\cos\theta^{cm} = 0$ (напоминает профиль тарелки). Это говорит о том, что если при импульсе 700 МэВ/с в процессе образования η -мезона играет роль только S -волна, то при 710 МэВ/с уже заметно проявляется вклад более высоких волн. Количественно оценить этот эффект позволят измерения при больших импульсах.

На π -мезонном канале синхротрона ИТЭФ (г. Москва) выполняются – совместно с физиками этого института – эксперименты по измерению параметров вращения спина A и R в упругом $\pi^+ p$ -рассеянии во второй резонансной области пион-нуклонного рассеяния. Именно такого рода эксперименты дают принципиально новое качество – они позволяют устранить дискретные неоднозначности, возникающие при проведении парциально-волновых анализов (ПВА) и создают уникальную возможность найти единственное правильное решение ПВА.

До недавнего времени подобные эксперименты не проводились из-за их исключительной сложности. Параметры вращения спина могут быть определены только с помощью рассеяния π -мезонов на поляризованной протонной мишени, спин которой лежит в горизонтальной плоскости, и последующего измерения поляризации протонов отдачи путём их вторичного рассеяния на ядрах вещества-анализатора (углерода). Контейнер, заполненный материалом мишени, помещался в криостат, который был расположен между двумя сверхпроводящими катушками Гельмгольца, создающими магнитное поле 2,5 Тл. За счёт откачки гелия-3 в криостате создавалась температура 0,6 К, что обеспечивало величину поляризации протонов в мишени на уровне 70–80%. Для определения траекторий падающих на мишень и рассеянных π -мезонов, а также протонов отдачи до и после их вторичного рассеяния на анализаторе (углероде) использовались пакеты магнитоотрицательных искровых камер.

Результаты измерения параметров вращения спина A и R , полученные при импульсах налетающих пи-мезонов 1430 и 1620 МэВ/с, позволили сделать очень важный вывод о том, что широко используемый анализ КН-80 (на нём базируются, в частности, все приводимые в таблицах PDG характеристики πN -резонансов) не верен при некоторых энергиях.

В настоящее время на π -мезонном канале ускорителя ИТЭФ выполняется следующий этап эксперимента – измерения поляризационного параметра P . Уже проведены измерения при импульсах 1780, 1940 и 2070 МэВ/с в диапазоне углов от 150° до 170° в системе центра масс. В этом диапазоне углов измерения до сих пор никем не проводились из-за очень малой величины дифференциального сечения. Полученные результаты доложены на международном совещании SPIN-03.

Ведётся подготовка нового эксперимента «ЭПЕКУР» по поиску узкого экзотического нуклонного резонанса путём сканирования инвариантной массы π^-p -системы в диапазоне 1610–1710 МэВ с регистрацией π^-p и $K\Lambda$ в конечном состоянии. Сканирование предполагается осуществлять изменением импульса налетающих π^- -мезонов и его измерением с точностью $\leq 0,1\%$ (т.е. лучше, чем 1 МэВ в терминах инвариантной массы во всём интервале энергий) с помощью многопроволочных пропорциональных камер, расположенных в первом фокусе π -мезонного канала. Вторичные частицы, рассеянные на жидководородной мишени, будут регистрироваться сборками проволочных дрейфовых камер, оснащённых современной электроникой съёма информации.