

ОБ ИССЛЕДОВАНИИ МНОГОЧАСТИЧНЫХ КОНЕЧНЫХ СОСТОЯНИЙ НА ПУЧКАХ МЕЧЕНЫХ ФОТОНОВ

П.С. Баранов, Б.Б. Говорков, В.Г. Раевский, Е.И. Тамм, Л.В. Фильков,
Л.Н. Штарков

Рассмотрены возможности экспериментального исследования многочастичных конечных состояний на пучках меченых фотонов и установках коллайдерного типа. Обсуждаемые эксперименты позволят исследовать парное и радиационное фоторождение π -мезонов, получить данные по комптоновскому рассеянию фотонов на адронах и определить константы поляризуемости адронов.

Экспериментальные исследования взаимодействий фотонов с адронами в промежуточной области энергий до недавнего времени концентрировались на изучении фундаментальных двухчастичных процессов, таких как одиночное фоторождение мезонов, фоторасщепление дейтрона, упругое рассеяние фотонов и некоторых других. Эти исследования проводились на пучках фотонов тормозного излучения с непрерывным спектром $1/E$, в условиях огромного фона от "мягкой", высокоинтенсивной части спектра, с применением узкоапертурных специализированных детекторов, настроенных на регистрацию одного-двух избранных процессов.

Применение высокоинтенсивных пучков меченых фотонов промежуточных энергий $1/\lambda$, обладающих высокими энергетическими и временными характеристиками, позволяет использовать идеологию коллайдерных детекторов и открывает тем самым широкие возможности исследования двухчастичных процессов на новом качественном уровне и возможности изучения фотообразования многочастичных конечных состояний. К таким процессам, в частности, относятся: парное фоторождение π -мезонов на водороде:

$$\gamma p \rightarrow \pi^+ \pi^0 n; \quad \gamma p \rightarrow \pi^0 \pi^0 p; \quad \gamma p \rightarrow \pi^+ \pi^- p, \quad (1)$$

радиационное фоторождение π -мезонов на водороде и радиационное фоторасщепление дейтрона:

$$\gamma p \rightarrow \gamma \pi^+ n; \quad \gamma p \rightarrow \gamma \pi^0 p; \quad \gamma d \rightarrow \gamma n p, \quad (2)$$

множественное фоторождение мезонов:

$$\gamma N \rightarrow \rho \Delta(N^*) \rightarrow 3\pi N; \quad \gamma N \rightarrow K\Lambda \rightarrow 3\pi N; \quad \gamma N \rightarrow \eta \Delta(N^*) \rightarrow 4\pi N. \quad (3)$$

Парное фоторождение π -мезонов (1) — явление малоизученное, а для процессов с образованием нейтральных π -мезонов данные вообще отсутствуют. Полное сечение процессов (1) находится на уровне 10^{-28} см².

В группе радиационных процессов (2) лишь для процесса $\gamma p \rightarrow \gamma \pi^+ p$ недавно были получены первые экспериментальные данные [2, 3]. Для двух других процессов данные полностью отсутствуют. Экспериментальные данные по радиационным процессам представляют особый интерес, так как они позволяют получать сведения о недоступных прямому исследованию реакциях комптоновского рассеяния фотонов на π -мезонах и нейтронах. Для этого необходимо выделить диаграмму одночастичного обмена в t -канале путем экстраполяции в полюс сечения радиационного процесса по квадрату переданного нуклону импульса. На основе данных по комптоновскому рассеянию можно исследовать эффект поляризуемости нестабильных адронов.

Радиационные процессы характеризуются малыми сечениями порядка $10^{-30} - 10^{-34}$ см² и регистрируются в экспериментах в условиях фона случайных совпадений, характерного при работе с пучком тормозного излучения, а также фона от процессов фоторождения нейтральных π -мезонов, имеющих сечение на два порядка выше и дающих в конечном состоянии те же продукты реакции, что и радиационные процессы.

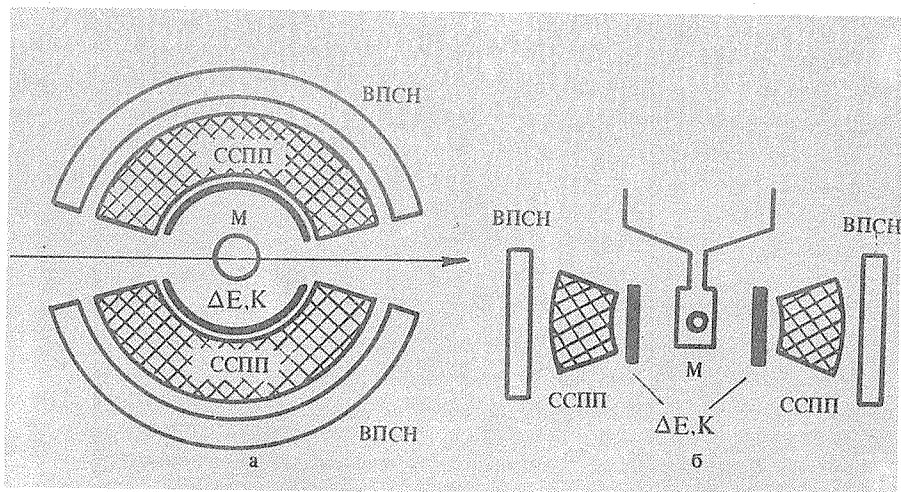
Процессы (3) интересны тем, что они позволяют исследовать взаимодействия векторных и псевдоскалярных мезонов с возбужденными состояниями нуклонов: $\rho(\omega) \Delta(N^*)$, $\eta \Delta(N^*)$ и другие.

При экспериментальном исследовании процессов (1) — (3) особую роль играет идентификация событий по типу реакции, которая использует кинематический фит с разбраковкой по критерию хи-квадрат и требует переопределения по числу измеренных параметров минимум на единицу (1с-фит).

В работах на пучках тормозного излучения, когда энергия первичного фотона неизвестна, это требование означает необходимость регистрации всех частиц — продуктов реакции, что приводит к снижению наблюдаемого выхода, как правило, на порядок величины. При переводе исследований на пучки меченых фотонов ситуация качественно изменяется. В этом случае в число измеряемых переменных входит энергия первичного фотона, что позволяет полностью отказаться от регистрации одной из частиц в конечном состоянии

и при этом сохранить переопределенность по числу измеренных кинематических переменных. Для трехчастичных процессов типа (1), (2) это создает возможность резкого увеличения эффективности регистрации физической установки, однако это не единственный способ реализовать возникающие преимущества. Например, в процессах типа (2), в конечном состоянии которых присутствует протон, отказ от его регистрации позволяет получать данные с минимальными передачами импульса, что невозможно сделать в измерениях на пучках "немеченных" фотонов, так как протоны отдачи с малыми энергиями поглощаются веществом мишени. В других случаях, когда отказ от регистрации частиц по каким-либо причинам нецелесообразен, работа с мечеными фотонами усиливает переопределенность кинематического фита и, тем самым, повышает надежность идентификации событий и улучшает разрешение эксперимента по другим параметрам.

Для проведения эксперимента на пучках меченых фотонов идеальной регистрирующей установкой является универсальный 4π -детектор частиц всех возможных типов. В нашем случае применение 4π -коллайдерного детектора



Р и с. 1. Схема универсального кольцевого детектора (crystal ring): а) вид сверху, б) разрез для $\Theta = 90^\circ$. ВПСН – время-пролетный спектрометр нейтронов; ССПП – сцинтилляционный спектрометр полного поглощения; ДЕ.К – сцинтилляционные счетчики для измерения удельных потерь энергии и координат заряженных частиц; М – криогенная жидководородная дейтериевая мишень.

затруднено наличием неподвижной криогенной мишени. Поэтому наиболее перспективным представляется кольцевой детектор (crystal ring), окружающий мишень симметрично с двух сторон в интервале полярных углов $15^\circ - 165^\circ$ и позволяющий одновременно регистрировать гамма-кванты, заряженные частицы и, в интересах исследования радиационного фоторасщепления дейтронов, нейтроны в широкой области энергий. Схема детектора, который предполагается использовать в экспериментах на системе мечения 1,2 ГэВ электронного синхротрона ФИАН "Пахра" /1/, приведена на рис. 1. Первый пояс детектора представляет собой сцинтилляционные счетчики для измерения удельных потерь энергии и углов вылета заряженных частиц, второй пояс — это модульный спектрометр гамма-квантов полного поглощения на основе сцинтилляционных монокристаллов NaI(Tl) или BGO с радиационной длиной $12X_0$, обладающих высоким энергетическим разрешением. Одновременно этот спектрометр служит для спектрометрии заряженных частиц. С внешней стороны располагается время-пролетный координатно-чувствительный спектрометр нейтронов. Эффективность такого детектора составляет 25% от 4π .

Рассмотрим вопрос о величине сечения процессов, изучаемых в экспериментах с предлагаемым детектором, задавшись, например, чувствительностью эксперимента — одно событие в час. Тогда $\sigma = 1/(3600 I_\gamma Q_M \epsilon) = 0,5 \cdot 10^{-34} \text{ см}^2$ где $Q_M = 2,3 \cdot 10^{23} \text{ см}^{-2}$ — число ядер водорода в криогенной мишени, используемой в экспериментах /2, 3/; $I_\gamma = 10^8 \text{ с}^{-1}$ — интенсивность пучка меченых фотонов /1/; $\epsilon = 0,25$ — полная эффективность предлагаемого детектора. Эта оценка показывает, что в такой постановке вполне возможны эксперименты по исследованию радиационного фоторождения π^0 -мезонов ($\gamma p \rightarrow \gamma \pi^0 p$) и исследование комптон-эффекта на π^0 -мезонах.

Таким образом, использование пучков меченых фотонов и регистрирующей установки коллайдерного типа позволяет сделать новый качественный шаг в исследованиях фотон-адронных взаимодействий и открывает возможность исследования процессов с низкоэнергичными протонами в конечных состояниях и получения сведений о комптоновском рассеянии и поляризуемости π -мезонов и нейтронов. Для реализации этих возможностей необходимо создать принципиально новый измерительный комплекс, включающий как единое целое установку мечения гамма-квантов и универсальный кольцевой детектор с прецизионными спектрометрическими и временными характеристиками. С помощью такого комплекса можно проводить одновременный набор данных по всем возможным физическим процессам на определенном типе мишени и в широком энергетическом интервале.

Авторы благодарны академику П.А. Черенкову за полезные обсуждения и внимание к работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Басков В.И. и др. Препринт ФИАН, М., 1985.
2. Айбергенов Т.А. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 5, 33 (1982).
3. Айбергенов Т.А. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 6, 31 (1984).

Поступила в редакцию 19 июля 1985 г.