

$$\beta = \frac{1}{2} + A + 1 + i\alpha \mp i\sqrt{M^2 - \frac{9}{4}};$$

$$(-, +) \quad \lambda = \frac{1}{2} + A + 1 - i\alpha \pm i\sqrt{M^2 - \frac{9}{4}},$$

$$\beta = \frac{1}{2} + A + 1 - i\alpha \mp i\sqrt{M^2 - \frac{9}{4}}.$$

К сожалению, дальше продвинуться с анализом этих решений не удастся, поскольку аппарат функций Гойна развит к настоящему времени недостаточно. На сегодняшний день возможен только численный анализ.

### Литература

1. Отчик, В.С. Квантовомеханическая задача Кеплера в пространствах постоянной кривизны / В.С. Отчик, В.М. Редьков. – Минск, 1986. – 49 с. – (Препринт / ИФ АН БССР; № 298).

Г.С. Покаташкин, О.М. Дерюжкова

УО «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины», Беларусь

### ПЕНТАКВАРК: ЗА И ПРОТИВ

#### Введение

Предпосылками к поиску пентакварка послужили теоретические исследования, выполненные Д.И. Дьяконовым, М.В. Поляковым и В.Ю. Петровым в 1997 году [1]. На рисунке 1 представлен мультиплет десяти экзотических барионов, включающих в себя

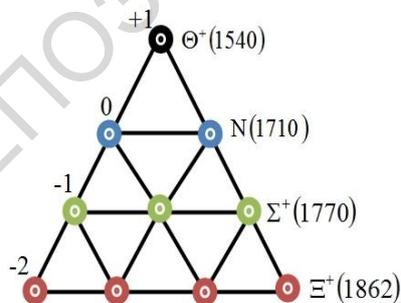


Рисунок 1 – Антидекуплет экзотических барионов

четыре кварка и один антикварк с соответствующей массой и странностью. Согласно этим предсказаниям самый легкий экзотический барион  $\Theta^+$  должен состоять из двух  $u$ -кварков, двух  $d$ -кварков и одного  $\bar{s}$ -антикварка. Многочисленные эксперименты по поиску таких объектов привели к неоднозначным результатам [2].

В 2003-2004 годах ряд независимых экспериментальных групп из Японии, России, Америки и Германии опубликовали результаты по наблюдению экзотического кваркового состояния, похожего на предсказанный в [1]  $\Theta^+$ -барион. В это же время примерно такое же число других союзов не подтвердили этого результата. В их число попало сотрудничество CLAS, первоначально наблюдавшее сигнал  $\Theta^+$ -бариона. Но после увеличения статистики наблюдаемых событий, CLAS сообщило, что не видит пентакварка. В 2008 году группа из Японии заявила о наблюдении  $\Theta^+(1540)$  со статистической значимостью в 5,1 стандартных отклонений на ускорителе LEPS.

Сотрудничество СВД, работающего на установке СВД-2 (спектрометр с вершинным детектором) оказалось среди групп, заявивших о наблюдении на ускорителе U-70 в ИФВЭ (г. Протвино) [3] экзотического бариона массой  $\sim 1540 \text{ МэВ}/c^2$  в протон-ядерных взаимодействиях  $pA \rightarrow \Theta^+ + X$ , распадающегося по каналам  $\Theta^+ \rightarrow pK_s^0$  и  $K_s^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ . В этом эксперименте налетающий протон  $p$  с импульсом  $70 \text{ ГэВ}/c$  взаимодействовал с ядрами кремния, углерода и свинца ( $A = Si, C$  и  $Pb$ ).

На установке СВД-2 были проведены два эксперимента по поиску экзотического бариона, и оба они дали положительные результаты по  $\Theta^+$ -бариона.

### 1. Постановка эксперимента на установке СВД-2

Эксперимент по поиску экзотического бариона был выполнен на установке СВД (спектрометр с вершинным детектором) [3]. Эта установка была создана для поиска около порогового рождения очарованных частиц при энергии U-70. Её схема представлена на рисунке 2.

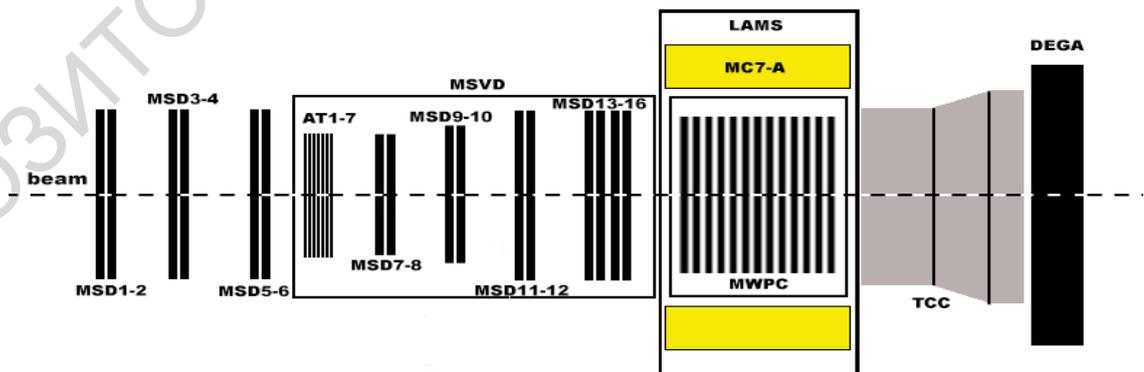


Рисунок 2 – Блочная схема детектирующих систем установки

Установка СВД-2 включает следующие компоненты:

1. Высокоточный микростриповый вершинный детектор (MSVD), состоящий из:

- MSBT (микростриповый пучковый телескоп) – MSD1-6 (три пары микростриповых детекторов из кремния).
- АТ (активную мишень) состоит из 5 пластинок кремния, пластинки из свинцовой фольги и углеродной мишени.
- MSVD (микростриповый вершинный детектор) – MSD7-12 (три пары разного размера) и MSD13-16 (две пары одного размера) кремниевых детекторов.

2. Широко-апертурный магнитный спектрометр (LAMS) имеет следующие основные элементы:

- Электромагнит МС-7А с апертурой 1,8x1,3 кв.м и однородным полем 1,18 Т длиной более 3 м в области.
- Два набора MWPC (многопроволочных пропорциональных камер).

3. Пороговый многосекционный Черенковский счётчик (ТСС) для идентификации частиц.

4. Детектор гамма квантов (DEGA).

## 2. Реконструкция данных

Цель исследования заключалась в том, что бы найти условия для успешного выделения распада  $\Theta^+(1540) \rightarrow pK_s^0$ . Основная трудность при этом обусловлена низкой эффективностью работы Черенковского счётчика (это влияет на идентификацию заряженных частиц, и в частности, разделение протонов и пи-мезонов), что приводит к значительному росту комбинаторного фона в спектре эффективных масс  $M(pK_s^0)$ . Если в канале  $K_s^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$  безболезненно удаётся идентифицировать мезон, то для идентификации протона приходится анализировать каждый трек, чтобы выяснить, является ли наблюдаемый эффект протоном, а не возникает вследствие зашумленности детекторов, кинематического отражения и других фоновых источников. Это снижает, в конечном счёте, вероятность получения результата об истинности пика. Для анализа данных была отобрана выборка событий с  $K_s^0$ -мезонами, ранее использованная в работе [4]. Чтобы понизить фон, создаваемый ложными треками, из-за неопределённости протонного трека, вводились ограничения на кинематику процесса. Основная суть их заключалась в том, что за

направление движения рождающегося пентакварка, а именно образующейся «материнской» частицы  $\Theta^+$ -бариона в ЛСК, принимается направление движения пучковой частицы ( $p$ ). Данные вершинного детектора свидетельствует, что наиболее эффективно  $\Theta^+$ -барион восстанавливается в узком диапазоне центральных углов (рисунок 3). В соответствии со сделанным предположением (для пояснения см. рисунок 3) было введено направление пучка  $\vec{e}_b = \{e_{bx}, e_{by}, e_{bz}\} = \{0, 0, 1\}$  в лабораторной системе координат (ЛСК). Если данное предположение является верным, то наблюдаемое распределение  $N_e(e_{Mx}, e_{My})$  (распределение по компонентам направления материнской частицы) имеет максимум числа вылетающих частиц вблизи нуля, что и подтверждается рисунком 3. В диапазоне центральных углов область ошибки составляет  $\sim 4^\circ$  (RMS по  $x$  и  $y$ ).

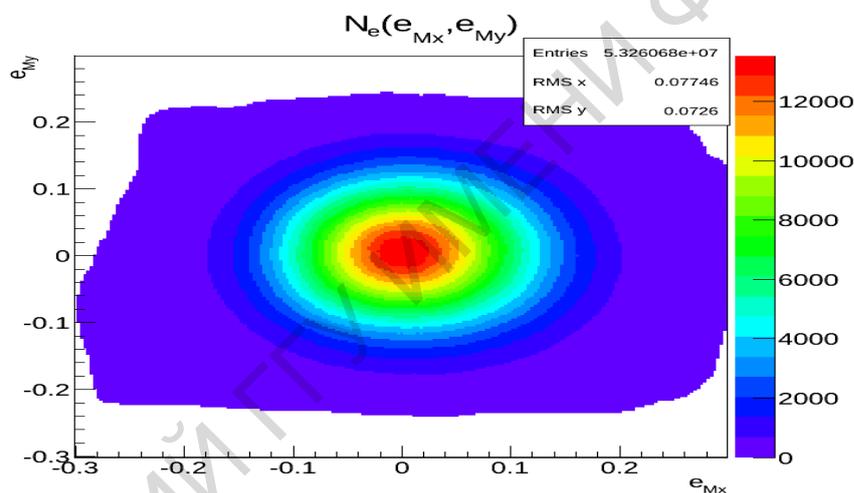


Рисунок 3 – Распределение по направлению «вылета» «материнской» частицы в ЛСК

Это ограничение на направление вылета  $Q^+$ -бариона, представляют собой систему обрезаний (cuts) для ЛКС. Механизм работы такой системы заключается в «отсеивании» событий не подходящих по ряду определённых признаков: импульс, направление «вылета», соотношение импульсов, критерий Арментероса-Подольянского. Данный подход был протестирован на резонансе  $\Sigma^+(1385) \rightarrow \Lambda^0 \pi^+$  (рисунок 4).

Как видно из рисунка 4, данный метод хорошо работает на примере известных резонансных состояний, позволяет значительно снизить комбинаторный фон, а также выделить резонансы без больших потерь в значимости. Пик от резонансного распада  $\Theta^+(1540)$  приведён на рисунке 5.

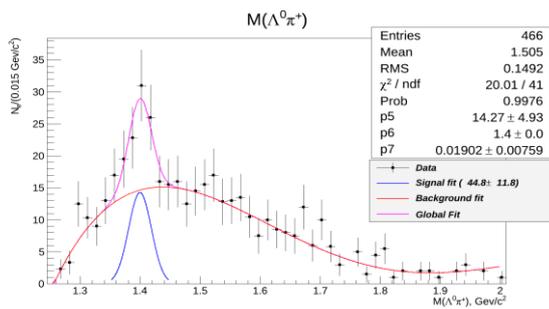


Рисунок 4 – Пик от распада  $\Sigma^+(1385)$

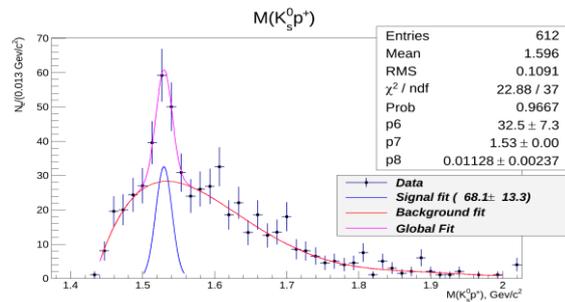


Рисунок 5 – Пик от распада  $\Theta^+(1540)$

## Заключение

Предложен метод, позволяющий выделить резонансный пик от экзотического бариона  $\Theta^+(1540)$ . Результат использования данной методики поиска  $\Theta^+$ -бариона, представленный на рисунке 5, убедительно свидетельствует о существовании данной частицы. Отношение сигнал/шум составляет 5,1 стандартных отклонений, что также позволяет сделать утвердительный вывод. Для продолжения дальнейшего анализа экспериментальных данных необходимо выполнить моделирование эксперимента с помощью пакета Geant4, использовать метод фильтра Кальмана для поиска треков и вершин взаимодействия, а также разработать методику восстановления треков частиц, не попавших в вершинный детектор.

## Литература

1. Никитин, Н.В. Пентакварк, опять пентакварк? / Н.В. Никитин // Астронет [Электронный ресурс]. – 2004. – Режим доступа: <http://www.astronet.ru/db/msg/1197605>. Дата доступа: 25.04.2014.
2. Present status on experimental search for pentaquarks / Peking University, Beijing 100871, China // [Электронный ресурс]. – 2014. – Mode of access: arXiv:1403.4455. – Date of access: 25.02.2014.
3. Observation of narrow baryon resonance decaying into pK in pA interactions at 70-GeV/c with SVD-2 setup / A. Aleev et al. // [Электронный ресурс]. – SVD Collaboration., 2004. – Mode of access: <http://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.91.012002>. – Date of access: 25.02.2014.
4. Изучение образования нейтральных каонов в pC-, pSi- и pPb-соударениях при 70 ГэВ/с / А.Н. Алеев [и др.]. – Протвино, 2011. – 18 с. – (Препринт / ГИЦ РФ Институт физики высоких энергий – Протвино; ИФВЭ).