

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ФИЗИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ
имени
П.Н.Лебедева



Ф И А Н

ПРЕПРИНТ

Г.А. СОКОЛ

20

**О ПОСТАНОВКЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ПОИСКУ
И ИССЛЕДОВАНИЮ эта(η)-МЕЗОННЫХ ЯДЕР
В pA и dA-РЕАКЦИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ВНУТРЕННИХ p- и d-ПУЧКОВ НУКЛОТРОНА
ЛВЭ ОИЯИ**

МОСКВА 2006

Г.А. Сокол.

О постановке эксперимента по поиску и исследованию эта(η)-мезонных ядер в рА и dА-реакциях с использованием внутренних р- и d-пучков нуклотрона ЛВЭ ОИЯИ.

О постановке эксперимента по поиску и исследованию эта(η)-мезонных ядер в pA- и dA-реакциях с использованием внутренних p- и d-пучков нуклотрона ЛВЭ ОИЯИ*.

Г.А. Сокол

Физический институт им. П.Н. Лебедева, РАН

e-mail:gsokol@sgi.lpi.msk.su

Аннотация.

Обсуждаются вопросы, связанные с постановкой эксперимента по поиску эта(η)-мезонных ядер в pA- и dA-реакциях, методом идентификации эта(η)-ядер, составом экспериментальной установки, выбором триггера событий. Рассматриваются возможные экспериментальные результаты, проводится их сравнение с возможными теоретическими оценками. Эксперимент предполагается осуществить на внутренних p- и d-пучках нуклотрона ЛВЭ ОИЯИ.

Some comments concerning a planned experiment on a search for eta(η)-mesic nuclei in pA and dA-reactions using internal p- and d-beams of the JINR Nuclotron.

G.A. Sokol

Lebedev Physical Institute, RSA

Abstract

Comments are devoted to a planned experiment on search for eta-mesic nuclei using internal p- and d-beams of the JINR Nuclotron (Dubna). A method of identification of eta-mesic nuclei on pA- and dA-reactions, a discription of an experimental set-up and electron trigger of events is examined. Simulation of the experiment is done and comparison with theoretical calculations are discussed.

* Доклад, представленный на Рабочем совещании по проекту "Поиск и исследование эта(η)-мезонных ядер в pA- и dA-реакциях на Нуклотроне ЛВЭ ОИЯИ" Дубна, ЛВЭ ОИЯИ, 17 Мая, 2006 года.

1. Введение

В работе рассматриваются некоторые проблемы, связанные с постановкой эксперимента по поиску и исследованию эта(η)-мезонных ядер в рА- и dА-реакциях. Эксперимент предполагается осуществить в ЛВЭ ОИЯИ (г. Дубна) с использованием внутренних р- и d-пучков Нуклотрона ОИЯИ [1].

После успешного эксперимента по обнаружению эта(η)-мезонных ядер в процессах фоторождения, проведенного на тормозном γ -пучке синхротрона ОФВЭ ФИАН [2, 3], интерес к обнаружению и исследованию новых нестабильных мезон-ядерных систем значительно возрос как с теоретической, так и с экспериментальной сторон. Появился ряд проектов по поиску эта(η)-мезонных ядер с использованием р- и d-пучков [4, 5], был выполнен ряд экспериментальных работ по обнаружению мезон-ядерных объектов с участием K , ω -мезонов [6]. Из большого количества теоретических работ, посвященных этой новой области мезон-ядерной физики, мы будем ориентироваться на работу [7], которая анализирует процесс образования η -мезонов в $NN \rightarrow \eta NN$ реакции и результаты могут быть использованы для анализа возможности образования эта(η)-мезонных ядер в рА- и dА-реакциях.

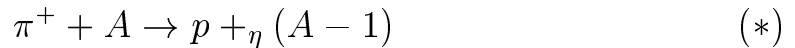
Материал в настоящей работе распределен следующим образом.

Вначале (§2) дано краткое описание этапов развития физики эта(η)-мезонных ядер, начиная с 1985 года. Затем рассматриваются результаты эксперимента и теории, связанные с образованием η -мезонов в $NN \rightarrow \eta NN$ реакции (§3, 4). Проектам экспериментов по образованию эта(η)-мезонных ядер в рА- и dА-реакциях посвящены §5 и §6. Метод идентификации эта(η)-мезонных ядер, экспериментальная установка и оценка эффективных энергий р- и d-пучков рассмотрены в §§7, 8, 9. Ожидаемые результаты эксперимента и сравнение с возможными теоретическими оценками приводятся в §10 и §11. В разделе "Ссылки" приводятся только основные, на наш взгляд, работы по обсуждаемой тематике.

2. Этапы развития физики эта(η)-мезонных ядер.

Рассмотрим кратко этапы развития физики эта(η)-мезонных ядер.

- Первой теоретической работой, в которой рассматривалось образование η -мезонных ядер в π^+A -реакции была работа Liu и Naidera (1986) [8]. В работе [8] рассматривалась реакция:



В реакции (*) монохроматический пучок π^+ -мезонов в элементарном процессе $\pi^+ + n \rightarrow p + \eta$ рождал η -мезон, который оставался в ядре и образовывал эта(η)-мезонное ядро, и протон вылетал из ядра. Предполагалось, что вылетающий под углом "вперед" протон из реакции (*) будет формировать узкий пик, ширина которого (9 МэВ), должна соответствовать ширине уровня, который возникает в ядре при ядерном взаимодействии η -мезона с ядром. Регистрация такого протонного пика и будет означать образование эта(η)-мезонного ядра.

- В 1988 г. в Брукхейвене (США) был предпринят эксперимент по регистрации p из (*) реакции для Li, C, O, Al ядер-мишеней [9].

Были реализованы следующие условия эксперимента:

$E_{\pi^+} \sim 800$ МэВ (условие безотдачной кинематики, когда в лаб. системе $E_{\eta} = 0$, что благоприятно для образования η -ядра).

$\Theta(p) = 15^\circ$, $E_p \sim 240$ МэВ, $\Gamma(p) \sim 9$ МэВ.

Однако, результат эксперимента оказался отрицательным: p -пик не был обнаружен.

Наше объяснение отрицательного результата: не было учтено ферми-распределение нуклонов (нейтронов) в ядре-мишени в реакции (*). В этом случае в элементарном процессе $\pi^+n \rightarrow \eta p$ падающий π^+ -мезон взаимодействует не с покоящимся, а движущимся ("навстречу" или "убегающим") нуклоном, что приводит к сильному разбросу пороговых энергий π -мезонов и, соответственно, к разбросу углов и энергий для вылетающих протонов. В этих условиях единственного узкого пика протонов и не должно быть.

- В 1991 г. появилась теоретическая работа [10], в которой рассматривалось образование η -мезонных ядер в γA -реакции.

В работе [10] проводился учет $S_{11}(1535)$ -резонанса в элементарном процессе $\gamma + p \rightarrow S_{11} \rightarrow p + \eta$ с вылетом p из ядра. Были рассчитаны полные сечения процесса:

$$\gamma + A \rightarrow p(n) + \eta (A - 1) \quad (**)$$

для ядер-мишеней ^{12}C и ^{16}O . Сечения имели резонансный характер в интервале (650-900) МэВ первичных γ -квантов (рис. 1).

- В 1994 году началась подготовка эксперимента по поиску эта(η)-мезонных ядер на электронном ускорителе ФИАН. В основу эксперимента легли расчеты работы [10]. В эксперименте в ФИАНе был получен положительный результат. Он явился первым результатом в литературе, показывающим возможность образования мезон-ядерной системы [2, 3].

Изучалась реакция:

$$\gamma + ^{12}C \rightarrow p(n) + \eta (A - 1) \rightarrow \pi^+ + n + X \quad (***)$$

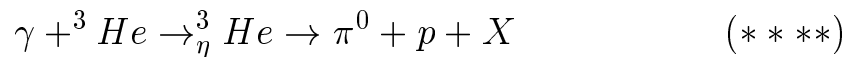
В соответствии с развитой моделью образования, эволюции и распада η -ядер [11], идентификация эта(η)-мезонных ядер осуществлялась путем регистрации конечных продуктов распада $S_{11}(1535)$ -резонанса в ядре: $S_{11}(1535) \rightarrow \pi + N$. Из 4-х типов πN -пары ($\pi^+n, \pi^-p, \pi^0n, \pi^0p$) в эксперименте был выбран распад на (π^+n)-пару.

Условия распада S_{11} -резонанса: $\langle \Theta_{\pi N} \rangle = 180^\circ$; $\langle E_\pi \rangle \simeq 300$ МэВ; $\langle E_n \rangle \simeq 100$ МэВ

Для регистрации (π^+n)-пар использовалась 2-х плечевая установка, состоящая из сцинтилляционных спектрометров, работающих по измерению времени пролета частицей определенной базы L. На рис. 2 и 3 представлены результаты эксперимента: двухмерный спектр по суммарной энергии (π^+n) пар при 2-х значениях края спектра тормозного излучения $E_{\gamma max} = 650$ и 850 МэВ (рис. 2) и распределение по суммарной энергии $E(\pi^+n)$ в сравнении с аналогичным распределением для распада свободного $S_{11}(1535)$ резонанса (рис. 3). Как видно из рис. 3 экспериментальный спектр сдвинут влево на величину $\Delta E = 90 \pm 15$ МэВ. Этот сдвиг был интерпретирован как результат влияния ядерной материи на массу $S_{11}(1535)$ резонанса.

- В 2003 году появились результаты эксперимента в Майнце [12].

В работе [12] использовалась реакция



Был получен максимум в выходе ($\pi^0 p$) событий для $\langle \Theta_{\pi^0 p} \rangle = 170^\circ$ (рис. 4). Пик в выходе ($\pi^0 p$) событий был также, как в работе [2], сдвинут влево по отношению к порогу рождения η -мезона. Однако, статистическая точность результатов работы [12] невелика. В работе [12] использовался метод идентификации эта(η)-мезонного ядра, развитый в [11].

- Далее следует отметить появление ряда проектов по обнаружению и исследованию эта(η)-мезонных ядер в различных реакциях.
- В работе [4] предложен проект эксперимента в Дармштадте по обнаружению и исследованию эта(η)-ядер в dA-реакции на установке GSI:



В этом проекте предлагалось установить энергию дейтронов равную:

$$E_d = 3,6 \text{ ГэВ}$$

т.е. предполагалось использовать условие безотдачной кинематики, когда $\vec{p}_{\eta} = 0$ в лаб. системе.

Предполагалась регистрация ${}^3\text{He}$, вылетающего под $\Theta({}^3\text{He}) = 0$. На рис. 5 представлены рассчитанные выходы ${}^3\text{He}$ для различных предположений о величине $Rea_{\eta N}$.

Экспериментальные данные по этому проекту в литературе пока отсутствуют.

- В работе [5] представлен проект эксперимента в Юлихе по образованию эта(η) мезонного ядра в реакции:

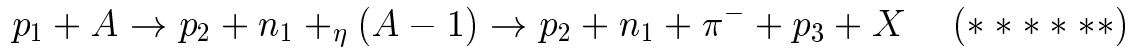


Предполагалась регистрация всех возникающих в реакции (****) частиц. На рис. 6 представлена схема экспериментальной установки.

Результатов по проекту [5] в литературе пока не имеется.

- В работе [1] рассмотрена возможность образования эта(η)-мезонных ядер в pA -реакции.

Проект эксперимента в Дубне предполагает регистрацию 4-х частиц, возникающих в реакции:



(n_1, p_2) -пара возникает в 1-ой стадии образования η -мезона на ядерном нуклоне в результате $pN \rightarrow \eta pN$ реакции, а $(\pi^- p_3)$ -пара частиц возникает от распада $S_{11}(1535)$ -резонанса в ядре.

На рис. 7 представлена схема экспериментальной установки. Эксперимент предполагается реализовать в 2006-2008 годах с использованием внутренних p - и d -пучков Нуклотрона ЛВЭ ОИЯИ.

Настоящая работа посвящена как раз уточнению параметров p - и d -пучков и методике проведения измерений в этом эксперименте.

3. Образование η -мезонов в $NN \rightarrow \eta NN$ процессе (эксперимент).

В настоящее время в литературе имеются экспериментальные результаты по образованию η -мезонов в pN -столкновениях в области энергий протонов вблизи порога рождения η -мезонов.

- На рис. 8 представлены экспериментальные результаты Julich/COSI и Uppsala/Celsius, взятые из работы [7].

Как следует из рис. 7 сечение образования η -мезона в околопороговой области энергий налетающей частицы (p_1) оказывается наибольшим для $pn \rightarrow \eta d$ реакции, сечение образования η -мезона в реакции $pn \rightarrow \eta pn$ примерно в 2-3 раза меньше, а реакция $pp \rightarrow \eta pp$ менее эффективна еще в 3-5 раза. С ростом энергии налетающего нуклона сечения для всех трех типов реакций в значительной мере выглаживаются и оказываются близкими по величине. Объяснение такого поведения сечения образования η -мезонов в $NN \rightarrow \eta NN$ реакции дано в следующем §-фе.

4. Образование η -мезонов в $NN \rightarrow \eta NN$ процессе (теория).

Из многочисленных теоретических работ, посвященных $NN \rightarrow \eta NN$ процессу и объяснению результатов эксперимента мы остановились на работе [7], в которой получено хорошее согласие с экспериментальными результатами по образованию η -мезонов в $NN \rightarrow \eta NN$ процессе.

Отметим основные положения работы [7]:

- Общепринятым является представление, что в образовании η -мезонов в NN-реакции доминирующим является процесс мезонного перерассеяния рис. 9 В работе [7] рассмотрено мезонное перерассеяние с участием π , ρ , η , σ -мезонов рис. 10.

В таблице 1 даны значения констант взаимодействия этих мезонов с нуклонами.

- Важна роль NN-взаимодействия в начальном (ISI) и конечном (FSI) состоянии процесса $NN \rightarrow \eta NN$ рис. 10.
- В околопороговой области энергий велика роль возбуждения $S_{11}(1535)$ -резонанса рис. 12.

На рис. 11 представлены диаграммы с обменом π -мезоном, обуславливающие процесс образования η -мезона в $NN \rightarrow \eta NN$ -реакции. Основной вклад вносят диаграммы с обменом заряженными π -мезонами (π^+ и π^- , а также диаграммы с образованием дейтрона в конечном состоянии.

- На рис. 13 представлены результаты работы [7] и сравнение их с имеющимися экспериментальными данными.

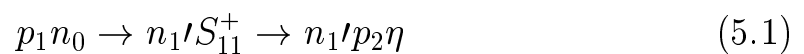
Как следует из рис. 13 имеется хорошее согласие теории с экспериментом.

Из теоретических расчетов работы [7] и их сравнения с экспериментом следует, что основной вклад в образовании η -мезонов в реакции $NN \rightarrow \eta NN$ вносит диаграмма с обменом π -мезоном.

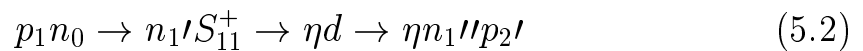
5. Образование эта(η)-мезонных ядер в рА-реакции.

В этом §-фе мы рассмотрим основные, принципиальные стороны образования эта(η)-ядер в рА-реакции, принимая во внимание результаты (эксперимент и теория) реакции $NN \rightarrow \eta NN$.

- Основным каналом в образовании эта(η)-мезонных ядер в рА-реакции в околороговой области энергий следует рассматривать $pn \rightarrow \eta pn$ -процесс, связанный с обменом π^+ -мезоном и возбуждением $S_{11}(1535)$ -резонанса



- Существенную роль в образовании η -мезонных ядер будет повидимому играть процесс образования дейтрона в ядре $pn \rightarrow d\eta$, с последующей диссоциацией дейтрона в ядре



что усиливает вклад (5.1) процесса.

- Ожидается, что вклад процесса $pp \rightarrow \eta pp$, связанного с обменом нейтральным π^0 -мезоном, будет составлять не более $\sim 10\%$ от $pn \rightarrow \eta pn$ вклада.

На рис. 14 представлены диаграммы, соответствующие образованию эта(η)-мезонных ядер в рА-реакции.

Таким образом в рА-реакции образование эта(η)-ядер будет происходить в основном за счет взаимодействия р с нейтронной компонентой ядра А.

6. Образование эта(η)-мезонных ядер в dA-реакции.

В случае d-пучка образование эта(η)-мезонных ядер возможно в результате $pn \rightarrow \eta pn$ и $pn \rightarrow \eta d$ -процессов, идущих на нейтронной компоненте ядра-мишени и в результате $np \rightarrow \eta np$ и $np \rightarrow \eta d$ -процессов, идущих на протонной компоненте ядра-мишени A. Предполагается, что в случае дейтрона активным является один из нуклонов дейтрона, а второй нуклон является зрителем. Тогда возможны следующие варианты взаимодействий:

- для p-составляющей d-пучка основные процессы:

$$p_1 n_o \rightarrow n_1' S_{11}^+ \rightarrow n_1' p_2 \eta \quad \text{и} \quad p_1 n_o \rightarrow n_1' S_{11}^+ \rightarrow \eta d \rightarrow \eta n_1'' p_2'$$

- для n-составляющей d-пучка основными процессами будут:

$$n_1 p_0 \rightarrow p_1' S_{11}^0 \rightarrow p_1' n_2 \eta \quad n_1 p_0 \rightarrow p_1' S_{11}^0 \rightarrow \eta d \rightarrow \eta p_1'' n_2'$$

- Предполагается, что в ядре образующийся дейтрон с большой вероятностью диссоциирует, что приводит к усилению процессов $np \rightarrow \eta np$ и $pn \rightarrow \eta pn$.
- Предполагается, что процессы $nn \rightarrow \eta nn$ и $pp \rightarrow \eta pp$, в которых происходит обмен нейтральным π^0 -мезоном, в случае d-пучка будут вносить вклад на уровне $< 10\%$.

На рис. 15 представлены диаграммы, описывающие формирование эта(η)-мезонных ядер в dA-реакции (для нейтронной компоненты d-пучка). В этих диаграммах протон p_0 в дейтроне является зрителем.

Для протонной компоненты d-пучка будут реализованы диаграммы такие же, как в pA-реакции (рис. 14) при условии, что нейтрон в d-пучке будет являться зрителем.

Таким образом, в случае d-пучка будет "работать" как нейтронная, так и протонная компонента ядра-мишени A и образование эта(η)-ядер должно быть более эффективным, чем в случае pA-реакции.

7. Модель образования, эволюции и распада эта(η)-мезонного ядра. Идентификация эта(η)-ядер.

В работе [11] была предложена модель образования эта(η)-мезонного ядра (ФИАН, 2000 г.). В основу модели заложено представление об исключительной роли $S_{11}(1535)$ -нуклонного резонанса, как в начальной стадии образования η -мезона на ядерном нуклоне, так и в стадии эволюции и распада эта(η)-ядра. Распад $S_{11}(1535)$ резонанса происходит, в основном, по каналам $S_{11} \rightarrow \pi N$ и $S_{11} \rightarrow \eta N$ с примерно равной вероятностью ($\sim 50\%$). Это уникальное свойство $S_{11}(1535)$ резонанса позволяет допустить, что в эта(η)-ядре возможно образование последовательности переходов:

$$\eta N \rightarrow S_{11} \rightarrow \eta N \rightarrow \dots S_{11} \rightarrow \pi N$$

Эта последовательность заканчивается распадом по πN -каналу, поскольку кинетические энергии π и N в этом случае оказываются достаточными для вылета их из ядра ($T_\pi \sim 300$ МэВ; $T_N \sim 100$ МэВ).

Поскольку реализуется распад практически покоящегося $S_{11}(1535)$ резонанса в ядре, то π, N разлетаются под $\Theta(\pi N) = 180^\circ$ и это обстоятельство используется для идентификации эта(η)-ядра (корреляция (!) по углу и энергиям продуктов распада). На рис. 16 представлена схема 2-х состояний эта(η)-мезонного ядра: с η -мезоном и $S_{11}(1535)$ резонансом, связанных в ядре.

По образному замечанию В.И. Ритуса [13] эта(η)-мезонное ядро можно рассматривать в виде "ядерного резонатора" с двумя состояниями: $S_{11}(1535)$ и " ηN " внутри ядра ($A - 1$). В ядре-резонаторе "возникают" переходы между этими состояниями. Однако, резонатор обладает плохой добротностью, т.к. после 3-5 колебаний эта(η)-ядро-резонатор распадается по πN -каналу и прекращает свое существование.

В эта-мезонном ядре возможны, кроме $S_{11} \rightarrow \eta N$ и $S_{11} \rightarrow \pi N$ -распадов процессы взаимодействия $S_{11}(1535)$ -резонанса с нуклонами ядра: $S_{11} N \rightarrow NN$. Вероятность взаимодействия $S_{11} N \rightarrow NN$ может составить около 10% от вероятности распада S_{11} -резонанса по ηN или πN -каналам [14].

Таким образом, эта(η)-мезонные ядра представляют уникальную возможность для исследования короткоживущих частиц ($S_{11}(1535)$ -резонанса с временем жизни $\tau_{1/2}(S_{11}) \sim 10^{-23}$ сек) с нуклонами.

8. Экспериментальная установка.

На рис. 7 представлена экспериментальная установка, предназначенная для регистрации случаев образования эта(η)-мезонных ядер в рА- и dА-реакциях, (проект Дубна [1]). В случае р-пучка реакцию можно записать:

$$p_1 + A \rightarrow p_2 + n_1' + \eta (A - 1) \rightarrow p_2 + n_1' + \pi + p_3 + X$$

Предполагается регистрация следующих событий:

- (π^- , p_3)-событий от распада в ядре $S_{11}(1535)$ -резонанса $S_{11} \rightarrow \pi^- + p_3$, что характеризует стадию распада эта(η)-мезонного ядра.
- (π^- , p_3 , p_2)-событий, в которых p_2 - возникает в результате процесса $S_{11} \rightarrow p_2 + \eta$, происходящего на 1-ой стадии образования эта(η) мезонного ядра.
- (π^- , p_3 , p_2 , n_1')-событий, в которых регистрируют частицы, возникающие как на стадии образования η -мезона (p_2 , n_1'), так и на стадии распада эта-ядра (π^- , p_3).

В декабре 2005 года был проведен калибровочный сеанс на нуклотроне с использованием 3-х плечевой экспериментальной установки (регистрация ($\pi^- p_3$) и ($\pi^- p_3 p_2$)-событий. Использовалась мишень ^{12}C (тонкая пленка CH_2 , толщиной $10 \mu\text{km}$). Энергии d-пучка устанавливались $E_d = 1,4 \text{ ГэВ/нуклон}$ и $1,5 \text{ ГэВ/нуклон}$. Проведенный сеанс показал работоспособность этой части установки. Продолжение работ намечено на 2-е полугодие 2006 года, где предполагается осуществить набор статистики. В 2007 году намечается подключение n-спектрометра и проведение эксперимента с регистрацией двойных, тройных и четверных событий, отмеченных в § 6.

9. Эффективные кинетические энергии падающих протонов T_p и дейтронов T_d для образования эта-мезонных ядер.

Предполагается, что в pA и dA-реакциях образование эта(η)-мезонных ядер с использованием p- и d-пучков, наиболее эффективно будет происходить в околопороговой области энергий рождения η -мезонов для элементарных процессов.

- Кинетическая пороговая энергия в реакции $N_{01} + N_{02} \rightarrow N_1 + N_2 + \eta$ определяется по формуле [15]:

$$T_{01}(\text{порог}) = \frac{(\sum m_i)^2 - (m_{01} + m_{02})^2}{2m_{02}}$$

Для элементарного процесса $NN \rightarrow \eta NN$ $T_{01}(\text{порог}) = 1260$ МэВ.

- В ядре, с учетом ферми-движения нуклонов, эквивалентная энергия $E_{01}(\text{экв})$ т. е. энергия, соответствующая взаимодействию с покоящимся нуклоном, определяется [15]:

$$E_{01}(\text{экв}) \cong E_{01} \left(1 \pm \frac{p_{02}}{m_{02}}\right)$$

где $p_{0z} = p_F$ - ферми-импульсы нуклона в ядре.

Для $\langle p_F \rangle = 218$ МэВ/с ($\langle T_F \rangle = 25$ МэВ) эквивалентные энергии $E_{01}(\text{экв})$ для случая нуклона "навстречу" и нуклона "убегающего", равны:

$$\langle T_F \rangle + 25 \quad 0 \quad - 25 \quad \text{МэВ}$$

$$T_{\text{кин}}(\text{порог}) \quad 750 \quad 1260 \quad 1770 \quad \text{МэВ}$$

Таким образом, с учетом ферми движения нуклонов в ядре энергии p- и d-пучков, при которых возможно образование эта-мезонных ядер, равны:

$$T_N(\text{ГэВ/нукл}) \quad 0,75 \quad 1,00 \quad 1,25 \quad 1,50 \quad 1,75 \quad 2,00$$

Для определения эффективных энергий T_p и T_d , при которых образование эта-мезонных ядер будет максимальным, необходимо осуществить измерения выходов $Y(\pi^-, p_3)$ -событий для всего интервала энергий T_p и T_d (от 0,75 до 2,0 МэВ/нуклон).

10. Ожидаемые результаты эксперимента.

Первоочередными экспериментальными результатами могут быть:

- Энергетическая зависимость выходов $Y(\pi^-, p_3)$ и $Y(\pi^-, p_3, p_2)$ в интервале ΔE_p и ΔE_d энергий (рис. 17).

Эта зависимость позволит выбрать оптимальную (по выходу) кинетическую энергию р- и d-пучков, при которой и нужно будет проводить набор основной статистики.

- Энергетическое распределение (π^-, p_3) -событий, регистрируемое под $\langle \Theta_{\pi N} \rangle = 180^\circ$ (рис. 18).

Из этого распределения можно будет получить оценку изменения массы S_{11} -резонанса в ядре по сдвигу $\Delta E(\pi^- p_3)$, а также оценить параметры в расчетах, используемых при вычислении спектра $(\pi^- p_3)$ -событий.

- Очень важным окажется получение А-зависимости выходов $Y(\pi^-, p_3)$, $Y(\pi^-, p_3, p_2)$ и энергетического сдвига $\Delta E(\pi^-, p_3)$, что может быть использовано в уточнении теоретической модели образования $\text{эта}(\eta)$ -ядер.
- **Основной результат - обнаружение $\text{эта}(\eta)$ -мезонных ядер.**

11. Цели эксперимента.

Основные цели эксперимента состоят в получении конкретных экспериментальных результатов, которые могут быть сравнимы с рассчитанными теоретическими величинами, и, тем самым, послужить обоснованием в определении заложенных в теоретических оценках параметров теории. Такими экспериментальными результатами следует считать:

- Сечение образования эта-мезонных ядер $\sigma_t(\eta(A-1))$ в реакции $NA \rightarrow_{\eta} (A-1) + X$.
При сравнении экспериментальных и теоретических значений сечений может быть получена оценка величины $Rea_{\eta N}$ реальной части длины рассеяния $a_{\eta N}$.
- Энергетическое распределение выходов $Y(\pi^- p_3)$ событий, что может быть использовано для определения $\Delta E_{св}(S_{11})$ в ядре, т.е. влияния ядерной среды на характеристики (массу) $S_{11}(1535)$ -резонанса.
- Определение ширины $\Gamma(\pi^-, p_3)$ -распределения. Сравнение теоретического значения $\Gamma(\pi^-, p_3)$ с экспериментальным значением позволит, возможно, оценить роль взаимодействия π^- и p_3 частиц с нуклонами ядра.
- А-зависимость $\Delta E_{св}$ и $\Gamma(\pi^- p_3)$

Основная цель эксперимента - обнаружение эта(η)-ядер в pA- и dA-реакциях.

Благодарности.

Автор благодарен Е.И. Тамму и А.И. Малахову за поддержку работы, С.В. Афанасьеву, Е.М. Лейкину, А.И. Львову, А.И. Лебедеву, Л.Н. Павлюченко за многочисленные обсуждения, В.А. Баскову и Л.И. Горячевой за помощь в оформлении рисунков и текста для печати.

Ссылки

- [1] M.Kh. Anikina et al. arXiv: nucl-ex/0412036 v.2 23 Dec. 2004
- [2] G.A. Sokol et al. Fizika B (Zagreb) 8, № 1 85-90 (1999)
- [3] Г.А. Сокол и др. Письма в ЭЧАЯ № 5 (102), 71 (2000)
- [4] R.S. Hayano, S. Hirenzaki, A. Gillitzer arXiv: nucl-th/9806012 (1988)
- [5] M. Betigeri et al. arXiv: nucl-ex/9912006 v.2 (1999)
- [6] Г.А. Сокол Препринт ФИАН № 21, 2005
- [7] V. Baru et al. Phys. Rev. C 67, 0240002 (2003)
- [8] L.C. Liu and Q. Haider Phys. Rev. C 34, № 5, 1845 (1986)
- [9] R.E. Chrien et al. Phys. Rev. Lett. 60, № 25, 2595 (1988)
- [10] A.I. Lebedev, V.A. Tryasuchev J. Phys. G. Nucl. Part. Phys. 17, 1197 (1991)
- [11] Г.А. Сокол, В.А. Трясучев КСФ ФИАН [Sov. Physics - Lebedev Institute Report] № 4, 23, (1991)
- [12] M. Pfeiffer et al. arXiv: nucl-ex/0312011 v 1 (2003)
- [13] В.И. Ритус - частное сообщение
- [14] C. Garcia-Recio, J. Nieves, T. Inone, E. Oset Phys. Lett. B 550, 47, 2002
- [15] А.Н. Балдин и др. Кинематика ядерных реакций. Атомиздат 1968.

Подписи к рисункам.

рис. 1. Зависимость полных сечений фоторождения эта(η)-ядер на $^{12}\text{C}(1)$ и $^{16}\text{O}(2)$: штриховые линии - реакция на нуклонах s-оболочки; сплошные линии - реакция на нуклонах p-оболочки. Вертикальными штриховыми линиями выделена область сечения реакции в интервале энергий $\Delta E_\gamma = 850 - 650$ МэВ [10].

рис. 2. Двумерные распределения по суммарной кинетической энергии (π^+, n)-пары, $E(\pi^+ + n)$, и кинетической энергии π^+ -мезона, для двух энергий $E_{\gamma max}$ конца спектра тормозного излучения: 850 и 650 МэВ.

рис. 3. Экспериментальное распределение по суммарной полной энергии (π^+, n) пары, $E(\pi^+ + n)$, продуктов распада $S_{11}(1535)$ резонанса внутри ядра, и распределение для распада свободного $S_{11}(1535)$ -резонанса.

рис. 4. Функции возбуждения для ($\pi^0 p$)-конечного состояния реакции $\gamma + {}^3\text{He} \rightarrow {}^3_\eta\text{He} \rightarrow \pi^0 + p + X$ (слева и в центре) и разность распределений (справа), аппроксимированная Брайт-Вингеровской зависимостью [12].

рис. 5. Ожидаемый энергетический спектр ${}^3\text{He}$ из реакции ${}^7\text{Li}(d, {}^3\text{He}){}^6\text{He}$ в зависимости от $Q = E(d) - E({}^3\text{He})$ при разных значениях $a_{\eta N} = \text{Re}a_{\eta M} + i \cdot \text{Im}a_{\eta N}$ [4].

рис. 6. Схема ТОФ-детектора для регистрации заряженных частиц, возникающих в реакции $pd \rightarrow {}^3_\eta\text{He} + ppp\pi^-$ [5].

рис. 7. Схема экспериментальной установки

рис. 17. Ожидаемые выходы $Y(\pi^-, p_3)$ и $Y(\pi^-, p_3, p_2)$ событий для $\langle \Theta_{\pi^-, p_3} \rangle = 180^\circ$ в лабораторной системе в зависимости от кинетических энергий T_p и T_d .

рис. 18. Ожидаемые экспериментальное и теоретическое распределения выходов $Y(\pi^-, p_3)$ -событий по суммарной энергии $E_\Sigma = E_{\pi^-} + E_{p_3}$ для (π^-, p_3) -частиц, возникающих от распада связанного в ядре $S_{11}(1535)$ -резонанса, и распределение по E_Σ при распаде свободного $S_{11}(1535)$ -резонанса.