

УДК 539.172

ВОЗМОЖНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ η -ЯДЕР

А. И. Лебедев, Г. А. Сокол

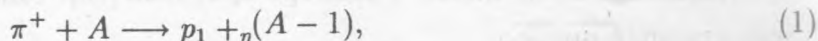
Проанализированы отрицательные результаты поиска η -мезонных ядер и обсуждены новые предложения по обнаружению этих гипотетических объектов ядерной физики в реакциях, вызванных фотонами, адронами и ядрами.

Поиск связанных состояний η -мезона и ядра (η -ядер) остается по-прежнему актуальным направлением исследований в ядерной физике промежуточных энергий [1]. Возможность их образования [2] обусловлена взаимодействием притяжения между медленным η -мезоном и нуклоном [3], которое является следствием существования нуклонного резонанса $S_{11}(1535)$, распадающегося с заметной вероятностью ($\approx 50\%$) по каналу $S_{11}(1535) \rightarrow \eta + N$. Соответствующие действительные части S -фазы и длины $\eta - N$ рассеяния являются положительными. Естественное предположение об аддитивности ηN -фаз для случая рассеяния η -мезонов на ядрах приводит к ядерному потенциалу притяжения. Расчеты показывают, что для ядер с $A > 11$ размер потенциальной ямы оказывается достаточным для образования связанной системы η -мезона и ядра [4 – 6]. Энергия связи η -мезона может достигать 20 МэВ , а ширина соответствующих уровней может варьироваться от 10 до 100 МэВ [7].

Поиск η -мезонных ядер был проведен в работах [8, 9]. В работе [8] измерялся спектр вылетающих под определенным углом протонов в реакции



Критерием образования η -ядер должно было служить появление в спектре кинематического пика, обусловленного вкладом бинарной реакции

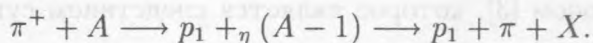


где p_1 – протон отдачи, на котором родился η -мезон. Ширина пика связана с шириной уровня η -ядра. Эксперимент был проведен в Брукхейвенской Национальной лаборатории

на пучке π^+ -мезонов с энергией $E_{\pi^+} = 800 \text{ МэВ}$ для различных мишеней (Li, C, O, Al) толщиной 2 г/см^2 . Протоны регистрировались магнитным спектрометром. Толщина мишени и разрешение спектрометра обеспечивали возможность наблюдения кинематического пика протонов с шириной $\sim 9 \text{ МэВ}$ при энергии 250 МэВ . Основным источником фона служила реакция выбивания протонов пионами. Ожидаемое соотношение сигнал/фон в этом эксперименте не превышало 1.

Однако пик, связанный с реакцией (1), в спектре протонов не был обнаружен на всех указанных мишенях. Несколько причин могли привести к ослаблению или отсутствию пика: значительно меньшее, чем ожидалось, сечение образования η -ядер, слишком большая ширина уровня η -ядра, влияние взаимодействия в начальном и конечном состояниях, которое может привести к сдвигу и уширению пика.

В другом эксперименте, проведенном на мезонной фабрике в Лос-Аламосе [9], поиски случаев образования η -ядер пионами были осуществлены путем регистрации быстрых протонов p_1 (в спектре должен появиться пик протонов) на совпадениях с пионом из распада η -ядра по πN -каналу



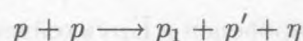
Вылет быстрого π -мезона с энергией 300 МэВ под углом 90° был бы серьезным указанием на образование η -ядер. Этот эксперимент был проведен на пучке π^+ -мезонов с энергией 640 МэВ и интенсивностью $\sim 4 \cdot 10^7 \pi/\text{с}$. Оценка выхода реакции в области кинематического пика давала $\simeq 3$ события в час. Ожидаемое отношение сигнал/фон составляло ≈ 5 . К сожалению, результаты этого эксперимента не были опубликованы, хотя в нем получены некоторые указания на существование связанного состояния.

Этому исследованию свойственны все вышеотмеченные недостатки эксперимента [8], поскольку основным критерием для отбора случаев образования η -ядер служило наблюдение узкого кинематического пика в протонном спектре.

Для рождения η -ядер могут быть использованы любые частицы необходимой энергии. Так, например, процесс их образования в протон-ядерных столкновениях

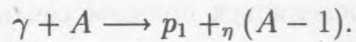


характеризовался бы пиком в спектре протонов [10]. Однако так как соответствующий элементарный процесс

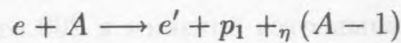


является трехчастичной реакцией, вероятность захвата ядром одновременно p' и η с образованием ${}_{\eta}A$ в (2) будет мала. Испускание же дополнительного протона (p') приведет к разрушению жесткой кинематической связи между углом и энергией вылета протона p_1 . Для этой реакции также свойственны трудности наблюдения η -ядер, которые характерны для процесса (1).

Некоторых трудностей можно избежать в реакциях, инициируемых реальными [11] или виртуальными [12] фотонами



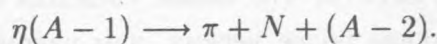
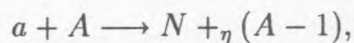
Здесь не существует искажения в начальном состоянии, и фотоны взаимодействуют со всеми нуклонами в ядре. Если для поисков η -ядер снова выбрать метод отыскания кинематического пика, то необходимо использовать монохроматические фотоны. К сожалению, применение монохроматических (меченых) фотонных пучков не эффективно из-за их малой интенсивности. Процесс электроорождения η -ядер



может быть использован для изучения рождения η -ядер виртуальными фотонами. Реализация такого исследования на сильноточном электронном ускорителе CEBAF [12] потребует применения спектрометров высокого разрешения для прецизионного измерения энергий электронов отдачи e' и протонов.

η -ядра должны проявлять себя и косвенно, как промежуточные резонансные состояния в некоторых ядерных реакциях [10]. Так, рассмотрение процессов двойной перезарядки пионов на ядрах показывает [13], что интерференция резонансной и нерезонансной частей амплитуд перезарядки должна приводить к наблюдаемым нерегулярностям в энергетической зависимости дифференциального сечения процесса.

Совершенно новый подход к проблеме поиска η -ядер был рассмотрен в работе [14], в которой случаи образования η -ядер предлагается выделять во второй стадии реакции по распаду η -ядра, например, на πN -пару



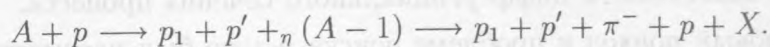
Здесь a есть адрон, ядро или фотон с энергией, достаточной, чтобы образовать η -мезон.

Как было показано на примере процесса рождения η -ядер фотонами, продукты их распада (πN -пара) должны быть сильно коррелированными по времени, энергии и относительному углу разлета. Для случая образования η -ядра вблизи порога угол $\Theta_{\pi N}$ должен быть близок к 180° , а суммарная энергия продуктов распада в системе центра масс около 450 МэВ ($E_\pi \sim 350 \text{ МэВ}$ и $E_N \sim 100 \text{ МэВ}$).

Отметим следующие преимущества предложенного метода наблюдения η -ядер по корреляционному анализу продуктов их распада: метод не связан с определенным видом первичной частицы; нет необходимости использовать монохроматические пучки; скорость счета совпадений определяется полным сечением образования η -ядра; реакция может идти как на нейтронах, так и на протонах ядра; геометрия эксперимента обеспечивает достижение хороших фоновых условий измерений; выход реакции определяется только одним телесным углом регистрации, поскольку детектируемые частицы генетически связаны.

Анализ экспериментальных условий регистрации πN -пары в случае проведения эксперимента по поиску η -ядер на пучке тормозного излучения синхротрона ФИАН "Патра" [15] указывает на возможность осуществления подобного эксперимента. Ожидаемый выход πN -совпадений оказывается близким к 200 отсчетам в час, и соотношение эффект/фон может быть лучше 50. Экспериментальная установка для такого исследования обладает цилиндрической симметрией, что позволяет выбрать большой телесный угол регистрации ($\sim \pi$). Это важно при проведении эксперимента на малоинтенсивных адронных пучках или на пучках меченых фотонов. Для увеличения выходов предусматривается регистрировать пары $\pi^+ n$, что позволяет использовать достаточно толстую мишень: до $5 - 7 \text{ г/см}^2$ в поперечном к пучку направлении и до $\sim 20 - 25 \text{ г/см}^2$ в продольном направлении.

Предложенный метод [14] удобно также использовать для поисков событий с образованием η -ядер пучками релятивистских ядер



В этом случае возникает 4 или более заряженных частиц, которые могут быть зарегистрированы в трековой части детектора [16]. Корреляция пары $\pi^- p$ по энергии (относительный импульс должен быть близким к $900 \text{ МэВ}/c$) может быть критерием отбора событий.

В заключение следует отметить, что новые сведения о длинах ηN -рассеяния [17] могут указать на существование более легких, чем рассмотренное выше, η -ядер. Более того, полученные недавно заключения о положительных значениях длин рассеяния

η -мезонов на Λ -гиперонах, служат основанием для предположений о возможности образования η -мезонных гиперядер [18].

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований, проект N 94-02-03324.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] N e f k e n s B. M. K. Proceedings of International Conf. Meson and Nuclei at Intermediate Energies. May 3-7, 1994, JINR, Dubna, Russia, World Scientific Publishing Co, Singapore, 1995, ed. M.Kh.Khankhasayev, p. 667.
- [2] P e n g J. C. AIP Conference Proceedings, **133**, 255 (1985).
- [3] B h a l e r a o R. S. and L i u L. Phys.Rev.Lett., **54**, 865 (1985).
- [4] L i u L. and H a i d e r Q. Phys.Rev., **C34**, 1845 (1986).
- [5] H a i d e r Q. and L i u L. Phys.Lett., **B 172**, 257 (1986); **174**, 465(E) (1986).
- [6] L i G. L., C h e n g W. K., and K u o T. T. S. Phys.Lett., **B195**, 515 (1987).
- [7] C h i a n g H., O s e t E., and L i u L. Phys.Rev., **C44**, 738 (1991).
- [8] C h r i e n R. et al. Phys. Rev. Lett., **60**, 2595 (1988).
- [9] L i e b B. and L i u L. LAMPF Progress Report LA-11670-PR, 1988, p. 52.
- [10] L i u L. C. Proceed. Intern. Symp. on Medium Energy Physics, June 23-28, 1987, Beijing, China, ed. C.H.Ching, Z.L.Shen, World Scientific Publishing Co., Singapore, 1987, p. 355.
- [11] L e b e d e v A. I. and T r i a s u c h e v V. A. Journ.Phys. **G**, **17**, 1197 (1991).
- [12] L i u L. C., L e i b J., and F u n s t o n H. D. Research Program at CEBAF(11), Report of 1986 Summer Study Group, 1986, CEBAF, Newport News, p.197.
- [13] H a i d e r Q., L i u L. Phys.Rev., **C36**, 1636 (1987).
- [14] С о к о л Г. А., Т р я с у ч е в В. А. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 4, 23 (1991).
- [15] S o k o l G. A. et al. Proceedings of the International Conf. Mesons and Nuclei at Intermediate Energies. May 3-7, 1994, JINR, Dubna, Russia, ed. M.Kh.Khankhasayev, World Scientific Publishing Co, Singapore, 1995, p. 651.
- [16] Х о р о з о в С. А. Частное сообщение.
- [17] A r i m a M., S h i m a z u K., and Y a z a k i K. Nucl.Phys., **A**, **543**, 613 (1992).

[18] Абаев V. V. and Nefkens B. M. K. Preprint UCLA-10-P25-229, Dec. 1994.

Поступила в редакцию 3 июля 1995 г.

УЧРЕДИТЕЛЬ

1) ... (1985)

2) ... (1985)

3) ... (1985)

4) ... (1985)

5) ... (1985)

6) ... (1985)

7) ... (1985)

8) ... (1985)

9) ... (1985)

10) ... (1985)

11) ... (1985)

12) ... (1985)

13) ... (1985)

14) ... (1985)

15) ... (1985)

16) ... (1985)

17) ... (1985)

18) ... (1985)

19) ... (1985)

20) ... (1985)

21) ... (1985)

22) ... (1985)

23) ... (1985)

24) ... (1985)

25) ... (1985)

26) ... (1985)

27) ... (1985)

28) ... (1985)

29) ... (1985)

30) ... (1985)

31) ... (1985)

32) ... (1985)

33) ... (1985)

34) ... (1985)

35) ... (1985)

36) ... (1985)

37) ... (1985)

38) ... (1985)

39) ... (1985)

40) ... (1985)

41) ... (1985)

42) ... (1985)

43) ... (1985)

44) ... (1985)

45) ... (1985)

46) ... (1985)

47) ... (1985)

48) ... (1985)

49) ... (1985)

50) ... (1985)

51) ... (1985)

52) ... (1985)

53) ... (1985)

54) ... (1985)

55) ... (1985)

56) ... (1985)

57) ... (1985)

58) ... (1985)

59) ... (1985)

60) ... (1985)

61) ... (1985)

62) ... (1985)

63) ... (1985)

64) ... (1985)

65) ... (1985)

66) ... (1985)

67) ... (1985)

68) ... (1985)

69) ... (1985)

70) ... (1985)

71) ... (1985)

72) ... (1985)

73) ... (1985)

74) ... (1985)

75) ... (1985)

76) ... (1985)

77) ... (1985)

78) ... (1985)

79) ... (1985)

80) ... (1985)

81) ... (1985)

82) ... (1985)

83) ... (1985)

84) ... (1985)

85) ... (1985)

86) ... (1985)

87) ... (1985)

88) ... (1985)

89) ... (1985)

90) ... (1985)

91) ... (1985)

92) ... (1985)

93) ... (1985)

94) ... (1985)

95) ... (1985)

96) ... (1985)

97) ... (1985)

98) ... (1985)

99) ... (1985)

100) ... (1985)