

УДК 519.17

ИЗУЧЕНИЕ ЯДЕРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИЗОСКАЛЯРНЫХ η -, ω -, η' - И φ -МЕЗОНОВ

Г. А. Сокол¹, Е. М. Лейкин²

Рассмотрена возможность экспериментального изучения ядерного взаимодействия мезонов с нуклонами и ядрами.

В данной статье рассмотрена возможность экспериментального обнаружения ядерного взаимодействия мезонов с нуклонами и ядрами. Это взаимодействие мезонов с ядерным веществом может приводить к изменению массы и времени жизни мезонов и рассматриваться в качестве следствия спонтанно нарушенной киральной симметрии – одного из фундаментальных свойств квантовой теории поля [1].

Из большого количества мезонов выбраны для рассмотрения изоскалярные мезоны, обладающие малой шириной распределения по массе и имеющие достаточно выраженную вероятность (несколько % и больше) распада на два γ -кванта или на две заряженные частицы. Условие распада на 2 частицы связано с предполагаемым методом выделения подобных событий. К таким мезонам можно отнести η -, ω -, η' - и φ -мезоны. Другие же имеют либо очень широкое распределение по массе, либо очень малую вероятность распада на 2 частицы.

В таблице 1 приведены основные характеристики и вероятности распада на 2 частицы для η -, ω -, η' - и φ -мезонов [2].

Ядерное взаимодействие мезонов с нуклонами при их распаде внутри ядра может проявиться в изменении распределения продуктов распада по энергии. Влияние ядерной среды на характеристики мезонов (массу, время жизни и др.) должно приводить к уменьшению массы мезона, что отразится в распределении по энергии распадных

¹gsokol@venus.lpi.troitsk.ru²НИИ ЯФ МГУ, leikin@sinp.msu.ru

частиц, а также в уменьшении времени жизни мезона, т.е. в увеличении ширины Γ распределения по массе. Для этого необходимо, чтобы осуществлялся распад медленного мезона в ядре, что может быть обеспечено, если образование мезона на ядерном нуклоне происходит в условиях, близких к безотдачной кинематике, т.е. когда образующийся мезон обладает близкой к нулевой кинетической энергией [3]. Такую кинематику легко обеспечить в случае рождения мезона на свободном нуклоне. При рождении мезона на ядерном нуклоне условие безотдачной кинематики размывается ферми движением нуклонов в ядре и может быть обеспечено только в узком интервале ферми-импульсов. В этом случае распределение распадных частиц от мезона будет достаточно размытым по энергии и по углу их разлета относительно $\langle \theta \rangle = 180^\circ$.

Т а б л и ц а 1

Основные характеристики и вероятность распада на 2 частицы ($\gamma\gamma$ -, $\pi\pi$ -, KK -) для η -, ω -, η' - и φ -мезонов (из Particle Data-2008)

Мезон	Масса m , MeV	Ширина Γ , MeV	Распад	%	p , MeV/c
η (547)	547.85 ± 0.02	1.30 ± 0.07 (KeV)	$\gamma\gamma$	39.31 ± 0.5	—
ω (782)	782.65 ± 0.12	8.49 ± 0.08	$\pi^- \pi^+$	1.53 ± 0.12	366
η' (958)	957.66 ± 0.24	0.205 ± 0.015	$\gamma\gamma$	2.10 ± 0.12	479
φ (1020)	1019.51 ± 0.18	4.26 ± 0.05	$K^- K^+$	49.2 ± 0.6	127

Предполагается следующая постановка эксперимента для обнаружения ядерного взаимодействия η -, ω -, η' - и φ -мезонов с нуклонами при использовании пучков e - и γ -квантов, а также p - и d -пучков:

- используется мишень в виде пленки из полистирола (C_8H_8) либо из метилметакрилата (C_5H_8). Вторая мишень предпочтительна по соотношению числа нуклонов в H и C ядрах в мишени. Предполагается, что на H процесс рождения мезона происходит как на свободном протоне и, тем самым, в эксперименте будет обеспечена необходимая энергетическая калибровка для процесса рождения мезона на ядерном нуклоне;

- энергия падающих частиц (e , γ , p , d) подбирается таким образом, чтобы для H осуществлялось условие безотдачной кинематики для рождения соответствующего мезона M ;

- для измерений выбирается интервал энергий, соответствующий моде распада M -мезона на 2 γ -кванта (η -мезон) или на 2 заряженных частицы ($\pi^- \pi^+$ или $K^- K^+$ -мезоны) (ω -, η' -, φ -мезоны);

– при реализации условия безотдачной кинематики частицы от распада мезона будут разлетаться под углом $\langle \theta(\pi\pi) \rangle = 180^\circ$, а их распределение по энергии будет достаточно узким, в соответствии со значением ширины Γ распределения по массе регистрируемого мезона;

– распадные частицы будут регистрироваться двумя спектрометрами, расположенными под углом 90° к падающему пучку;

– если часть мезонов испытывает ядерное взаимодействие внутри ядра-мишени, то регистрируемое распределение по энергии распадных частиц будет сдвинуто относительно узкого пика, отвечающего рождению мезона на H , и будет представлено в виде более широкого пика, отвечающего рождению мезона на ядерном нуклоне. Более широкий пик будет сдвинут к меньшим энергиям из-за уменьшения массы мезона в ядерной среде и размыт из-за влияния ферми – движения нуклонов в ядре.

Таким образом, наблюдение суммарного распределения по энергии распадных частиц для конкретного мезона M , состоящего из узкого и более широкого, сдвинутого по энергии, пика, при использовании в эксперименте составной мишени, содержащей H и ядро A (например, CH_2), будет свидетельствовать о наличии влияния ядерной среды, т.е. ядерного взаимодействия мезона M и ядра A .

На рис. 1 схематично представлено ожидаемое распределение по энергии распадных частиц мезона M для случая мишени, содержащей H и ядро ^{12}C .

Т а б л и ц а 2

Значения кинетических энергий протона T_p (в ГэВ)
при образовании мезона M в pp -реакции и энергии $E(\gamma)$ (в ГэВ)
при фоторождении мезона M в (γp) -реакции в условиях безотдачной кинематики,
когда $T(M) = 0$

Реакция	η	ω	η'	φ
$T(p) \quad p + p \rightarrow M + p + p$	0.547	0.782	0.958	1.020
$T(p) \quad p + p \rightarrow M + p + p$	2.24	7.37	–	–
$T(p) \quad p + d \rightarrow M + p + d$	1.04	1.73	2.43	2.74
$E(\gamma) \quad \gamma + p \rightarrow M + p$	1.0	3.90	–	–
$E(\gamma) \quad \gamma + d \rightarrow M + d$	0.63	0.95	1.20	1.42

в позициях, отмеченных (–), условие безотдачной кинематики не реализуется, т.к. масса мезона M превышает массу частицы-мишени.

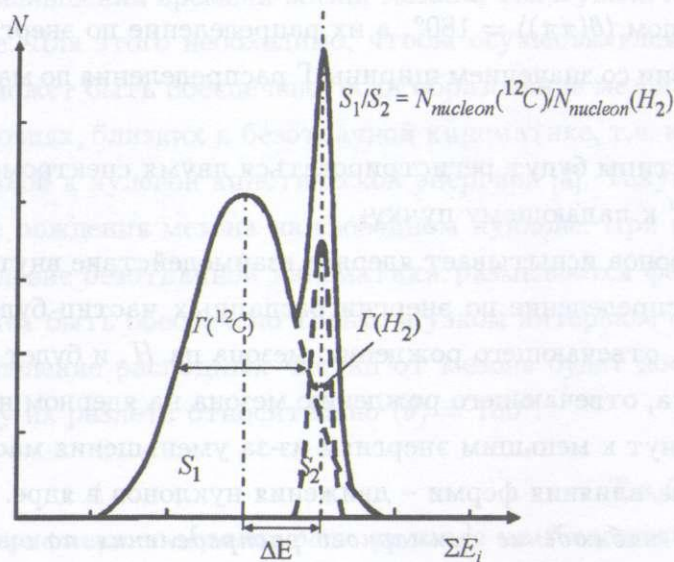


Рис. 1. Схематический ожидаемый энергетический спектр по суммарной энергии ΣE_i частиц от распада мезона M , возникающего в результате рождения на ядерном нуклоне ядра ^{12}C и на ядре H_2 в составной мишени $C H_2$.

В таблице 2 приведены значения кинетических энергий $T(p)$ (в ГэВ) налетающего протона при рождении мезона M в pp -столкновении и значения $E(\gamma)$ (в ГэВ) при фоторождении мезона M в γp -реакции, отвечающих условию безотдачной кинематики, когда кинетическая энергия мезона M $T_{кин}(M) = 0$ в лабораторной системе координат.

Т а б л и ц а 3

Значения пороговых энергий $E(\gamma, \text{порог})$ (в ГэВ) в реакции фоторождения M -мезонов на протоне и пороговых энергий $T(p, \text{порог})$ (в ГэВ) при образовании мезона M в pp -реакции

Реакция	η	ω	$\acute{\eta}$	φ
$E(\gamma, \text{порог}) \gamma + p \rightarrow M + p$	0.71	1.11	1.45	1.57
$T(p, \text{порог}) p + p \rightarrow M + p + p$	1.25	1.89	2.40	2.59

В таблице 3 приведены пороговые энергии $E(\gamma, \text{порог})$ (в ГэВ) при фоторождении мезонов M в (γ, p) -реакции и пороговые энергии $T(p, \text{порог})$ (в ГэВ) для образования мезонов M в pp -реакции.

Остановимся на условии безотдачной кинематики, которое составляет основную особенность эксперимента.

Создание для мезона M условия безотдачной кинематики, т.е. условия, когда мезон M в ядре практически покоится, важно по следующим причинам:

– если мезон M распадается на 2 частицы, то частицы разлетаются под углом $\langle\theta\rangle = 180^\circ$. Разлет происходит во все 4π пространство, что позволяет выбрать положение для 2-х спектрометров с минимальным уровнем фона. Предпочтительно расположение спектрометров под углом $\langle\theta\rangle = 90^\circ$ по отношению к падающему пучку, по обе стороны от пучка, и в вертикальной плоскости реакции;

– если условие безотдачной кинематики не выполнено и мезон M обладает заметной кинетической энергией $T(M)$, то он может вылететь из ядра и его распад будет происходить вне ядра и влияние ядра на характеристики мезона M не будет сказываться.

По этим причинам условие безотдачной кинематики важно, т.к. увеличивает выход ожидаемой реакции и обеспечивает условия для регистрации частиц, возникающих при распаде мезона M в ядре.

В работах [4, 5, 7, 8] рассматривалось влияние ядерной среды на характеристики мезонов и наблюдалось смещение измеряемого энергетического распределения распавшихся частиц мезона M в ядре по сравнению с распределением при распаде свободного мезона. В этих работах условие безотдачной кинематики не рассматривалось, поэтому эффект смещения распределения был мал. Тем не менее, смещение было зафиксировано и связывалось с влиянием ядерной материи на характеристики мезонов, т.е. с ядерным взаимодействием мезона M с ядром.

Возможность изучения свойств барионных резонансов в ядерной среде рассмотрена в [6].

В работах [9–11], выполненных с целью обнаружения эта(η)-мезонных ядер, наблюдалось смещение положения по энергетической шкале $S_{11}(1535)$ -резонанса, образованного в ядре A в результате реакции $\gamma + N \rightarrow S_{11}(1535)$, когда η -мезон возникал внутри ядра в процессе $\gamma + A \rightarrow N + [\eta + (A - 1)]$. Смещение в положении $S_{11}(1535)$ -резонанса по сравнению с положением в случае распада свободного $S_{11}(1535)$ -резонанса можно рассматривать как результат изменения свойств (массы) η -мезона в ядерной среде.

Авторы выражают благодарность В.А. Баскову за помощь в оформлении рисунка.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] В. Krushe, Pr. Part. Nucl. Phys. **55**, 46 (2005).

- [2] C. Amsler et al. (Particle Data Group), Phys. Lett. B **667**, 1 (2008).
- [3] А. М. Балдин и др., *Кинематика ядерных реакций* (М., Атомиздат, 1968).
- [4] M. Hedayati-Poor, H. S. Sherif, arXiv: nucl - th/0604016
- [5] S. Eidelman et al. (Particle Data Group), Phys. Lett. B **592**, 1 (2004).
- [6] А. И. Лебедев, в: Труды 1-го рабочего совещания “Поиск и исследование η -мезонных ядер в pA -реакции на нуклотроне ОИЯИ” (ОИЯИ, Дубна, 2007), стр. 8.
- [7] J. Weiß et al., Eur. Phys. J. A **16**, 275 (2003).
- [8] D. Trnka et al., Phys. Rev. Lett. **94**, 192303 (2005).
- [9] G. A. Sokol et al., Fizika B (Zagreb) **8**(1), 85 (1999).
- [10] Г. А. Сокол и др., Письма ЭЧАЯ N 5, 71 (2000).
- [11] Г. А. Сокол и Л. Н. Павлюченко, ЯФ **71**(3), 509 (2008).

Поступила в редакцию 3 декабря 2008 г.