

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**ФИЗИЧЕСКИЙ  
ИНСТИТУТ**



*имени  
П. Н. Лебедева*

**Ф И А Н**

ПРЕПРИНТ

**29**

А.И. ЛЕБЕДЕВ

**О ВОЗМОЖНОСТИ ИЗУЧЕНИЯ СВОЙСТВ  
БАРИОННЫХ РЕЗОНАНСОВ  
В ЯДЕРНОЙ СРЕДЕ**

МОСКВА 2006

# О ВОЗМОЖНОСТИ ИЗУЧЕНИЯ СВОЙСТВ БАРИОННЫХ РЕЗОНАНСОВ В ЯДЕРНОЙ СРЕДЕ <sup>1</sup>

А.И.Лебедев

*Физический институт им. П.Н.Лебедева Российской Академии Наук,  
119991 Москва, Ленинский проспект 53*

e-mail: lebedev@x4u.lpi.ruhep.ru

## Аннотация

Предлагается исследовать влияние ядерной среды на массы и ширины барионных резонансов в экспериментах по рождению коррелированных по углу разлета и по энергиям пар мезонов и барионов в  $pA$ -столкновениях на нуклотроне ОИЯИ.

# ON THE POSSIBILITY TO STUDY PROPERTIES OF BARION RESONANCES IN NUCLEI MATTER <sup>2</sup>

A.I.Lebedev

*P.N.Lebedev Physical Institute of Russian Academy of Sciences,  
119991 Moscow, Leninsky prospect 53*

e-mail: lebedev@x4u.lpi.ruhep.ru

## Abstract

It is suggested to investigate the in-medium nuclear modification of masses and width of nucleon and hyperon resonances in the experiments on production of meson-barion pairs correlated by angles and energies in  $pA$  interactions at JINR nuclotron.

---

<sup>1</sup> Сообщение на 2-ом рабочем совещании сотрудничества ОИЯИ-ФИАН, Дубна, 17.05.2006.

<sup>2</sup> Talk at the 2-nd workshop of JINR-LPI collaboration, Dubna 17.05.2006

В Лаборатории высоких энергий ОИЯИ ведутся поиски  $\eta$ -ядер (связанных состояний  $\eta$ -мезонов и ядер) в процессах образования пион-нуклонных пар при столкновении протонов энергии 1.2-4.5 ГэВ с атомными ядрами [1]. В рамках этой программы можно также исследовать влияние ядерной среды на свойства барионных резонансов, распадающихся на  $\pi N$ -или  $\eta N$ -пары, в частности нуклонных резонансов  $D_{13}(1520)$  и  $S_{11}(1535)$ . Таким исследованиям уделяется в настоящее время исключительное внимание. Это связано с проверкой киральных моделей сильных взаимодействий для мягких процессов и с возможным частичным восстановлением киральной симметрии в реакциях, проходящих внутри ядер. Так теоретическое рассмотрение предсказывает, что в унитарной киральной модели масса резонанса  $S_{11}$ , возникающего в ядре, не отличается от массы свободного  $S_{11}$ , а в дублетной модели - заметно уменьшается при учете частичного восстановления киральной симметрии [2].

Это обстоятельство необходимо учитывать при рассмотрении проблемы существования  $\eta$ -мезонных ядер. Действительно, потенциал  $U(r)$  взаимодействия медленного  $\eta$ -мезона с ядром, обусловленный  $\eta N$ -рассеянием на нуклонах ядра за счет образования  $S_{11}$ -резонанса в промежуточном состоянии, пропорционален [3]

$$U(r) \sim \frac{\rho(r)}{m_\eta + M_N^* - M_S^* + i\Gamma^*/2}$$

где  $m_\eta$ ,  $M_N$ ,  $M_S$  - массы  $\eta$ -мезона, нуклона, резонансного состояния  $S_{11}$  и  $\Gamma$ -его ширина,  $\rho(r)$ -ядерная плотность, которая вне ядра равна 0. Звездочки над символами означают соответствующие величины внутри ядра.  $\Gamma$  равно  $\approx 150$  МэВ/ $c^2$ . Для  $\eta N$ -взаимодействия в свободном пространстве величина  $\Delta = m_\eta + M_N - M_S \approx -45$  МэВ/ $c^2$ . Это обеспечивает отрицательное значение  $ReU(r)$ , что соответствует притяжению остановившихся  $\eta$ -мезонов к нуклонам и ядрам, которое может привести к их захвату на ядерную орбиту и к образованию  $\eta$ -ядер. Однако величина  $|\Delta|$  мала по сравнению с массами барионов, и даже небольшое изменение масс  $M_N^*$  и  $M_S^*$  в ядерной среде может привести к положительным значе-

ниям  $\Delta^* = m_\eta + M_N^* - M_S^* > 0$  и к  $ReU(r) > 0$ , то-есть к потенциалу отталкивания  $\eta$ -мезонов от ядра и отсутствию связанных состояний.

Проведенные к настоящему времени экспериментальные исследования дают противоречивые результаты для смещения положения  $S_{11}$ -резонанса: в работе [4, 5] обнаружено уменьшение  $M_S$  в ядре  $C$  на  $\approx 90 \text{ МэВ}/c^2$ , в то время как в работах по фоторождению  $\eta$ -мезонов на ядрах  $C$ ,  $Al$ ,  $Cu$  (см. ссылки в [6]) смещение проявляется слабо.

Следует отметить, что изучение фоторождения  $\omega$ -мезонов на ядре  $Sn$  и определение его массы в ядре путем регистрации распада  $\omega \rightarrow \pi^0 \gamma \rightarrow 3\gamma$  и измерения энергии трех  $\gamma$ -квантов (продуктов распада  $\omega$ ) привело к массе  $m_\omega^* = (722 \pm 3/2[stat] \pm 35/5[syst]) \text{ МэВ}/c^2$ , что на  $60 \text{ МэВ}/c^2$  ниже массы свободного  $\omega$ -мезона:  $m_\omega = (782.6 \pm 0.1) \text{ МэВ}/c^2$  [7].

Необходимо выполнить новые исследования влияния ядерной среды на резонанс  $S_{11}$ , который имеет каналы распада  $\pi + N$  ( $\approx 50\%$ ) и  $\eta + N$  ( $\approx 50\%$ ), а также на резонанс  $D_{13}$ , распадающийся с вероятностью  $\approx 60\%$  на  $\pi N$ -пару. Подобная программа может быть реализована и для других барионных резонансов (см. Таблицу 1), имеющих двухчастичные моды распадов, если они проявляются в виде четких максимумов в распределении по относительной энергии продуктов распада. К ним относятся  $\Delta(1232)$ -изобара и  $\Lambda(1405)$ -гиперон, распадающиеся с почти 100% вероятностью на  $\pi N$ -систему и  $\pi \Sigma$ -систему соответственно, а также гипероны  $\Lambda(1520)$ , имеющий 2 моды распада: на  $\pi + \Sigma$  (42%) и на  $\bar{K} + N$  (45%), и  $\Sigma(1385)$ , распадающийся преимущественно (на 88%) на  $\pi \Lambda$ -пару.  $\Delta$  и  $S_{11}$  хорошо идентифицируются по энерговыделению в распаде на  $\pi N$ -пару и на  $\eta + N$  соответственно, а  $\Lambda(1405)$ ,  $\Lambda(1520)$  и  $\Sigma(1385)$  - по наличию странных частиц в конечном состоянии. А вот в распределение по энергиям в  $\pi N$ -системе в области 1520-1535  $\text{МэВ}$  могут давать вклады как  $D_{13}$ , так и  $S_{11}$  резонансы. При этом  $D_{13}$  вклад может быть доминирующим. Требуется дополнительный анализ сравнительного вклада  $S_{11}$  и  $D_{13}$  в  $\pi N$ -спектр при полных энергиях 1500 - 1600  $\text{МэВ}$ .

**Таблица 1. Свойства некоторых барионных резонансов [8]**  
(масса и ширина - в  $M\text{эВ}/c^2$ , импульс частиц распада - в  $M\text{эВ}/c$ , указаны только двухчастичные каналы распада резонансов).

Резонанс (масса)	Ширина	Квантовые числа			Распад	Доля	Импульс
		$I(J^P)$	$L_{2I,2J}$	S			
$\Delta(1232)$	120	$\frac{3}{2}(\frac{3}{2}^+)$	$P_{33}$	0	$\pi + N$	$> 99\%$	227
$\Lambda(1405)$	50	$0(\frac{1}{2}^-)$	$S_{01}$	-1	$\pi + \Sigma$	100%	157
$\Sigma(1385)$	36	$1(\frac{3}{2}^+)$	$P_{13}$	-1	$\pi + \Lambda$	$\approx 88\%$	208
$\Lambda(1520)$	15	$0(\frac{3}{2}^-)$	$D_{03}$	-1	$\pi + \Sigma$	$\approx 42\%$	268
					$K + N$	$\approx 45\%$	243
$D_{13}(1520)$	120	$\frac{1}{2}(\frac{3}{2}^+)$	$D_{13}$	0	$\pi + N$	50-60%	457
$S_{11}(1535)$	120	$\frac{1}{2}(\frac{1}{2}^-)$	$S_{11}$	0	$\pi + N$	35-55%	468
					$\eta + N$	30-55%	186

Обсуждаемые резонансы характеризуются большой шириной (десятки  $M\text{эВ}/c^2$ ). После рождения их протонами на ядре А они распадаются до вылета из ядра на долгоживущие ( $\tau > 10^{-20}$ сек.) мезоны  $\mu$  ( $\pi, \eta, \bar{K}$ ) и барионы  $B$  ( $N, \Lambda, \Sigma$ ). Эти частицы ( $\mu$  и  $B$ ) проводят в ядре лишь малую долю своего времени жизни и вне ядра имеют свойства свободных объектов.

Спектрометрия мезонов и барионов обеспечивает возможность измерения эффективной массы резонансов в ядерной среде.

Процесс рождения гиперонных резонансов в  $pA$ -столкновениях является более сложным (в силу закона сохранения странности) по сравнению с процессом образования нуклонных возбужденных состояний

$$p + A \rightarrow N' + A'_R \rightarrow N' + (\mu + B) + X$$

(здесь  $N'$ -нуклон отдачи,  $A'_R$  - ядро, в котором образовался нуклонный резонанс  $R$ ). В таких исследованиях целесообразно проводить измерения для условий безотдачной кинематики, когда образованный в  $NN$ -столкновениях нуклонный резонанс обладает минимальной кинетичес-

кой энергией (например при энергиях вблизи порога рождения). В этом случае его распад будет характеризоваться разлетом мезонов и барионов под углом  $\approx 180^\circ$ . Помимо корреляции по углам они должны быть коррелированы по энергиям в соответствии с двухчастичной кинематикой распада резонансов.

Контрольными экспериментами могут служить измерения положения и ширины барионных резонансов в процессах их рождения на свободных нуклонах для сопоставления с результатами измерений на ядрах и с табличными значениями.

Установка эксперимента [1], обладающая хорошим разрешением по энергиям и углам разлета мезонов и барионов и дополненная аппаратурой для идентификации не только пионов и нуклонов, а и  $\eta$ ,  $\bar{K}$ -мезонов и  $\Lambda$ ,  $\Sigma$ -гиперонов, может быть использована для решения проблем влияния ядерной среды на свойства барионных резонансов.

## Список литературы

- [1] M.Kh.Anikina et al., arXiv:nucl-ex/0412036v2  
Search for and study of eta-mesic nuclei in pA-collisions at the JIRN LHE nuclotron
- [2] H.Nagahiro, D.Jido and S.Hirenzaki, arXiv:nucl-th/0504081v1  
Formation of mesic nuclei by  $(\gamma, p)$  reactions
- [3] D.Jido, H.Nagahiro and S.Hirenzaki, Phys.Rev. **C66** (2002) 045202  
Medium effects on the N(1535) resonance and  $\eta$ -mesic nuclei
- [4] G.A.Sokol et al., Fizika B (Zagreb) **8** (1999) 85  
Search for  $\eta$ -mesic nuclei in photoproduction processes
- [5] Г.А.Сокол и др. Письма в ЭЧАЯ, **5 (102)** (2000) 71  
Обнаружение  $\eta$ -мезонных ядер

- [6] M.Hedayati-Poor, H.S.Sherif, arXiv:nucl-th/0604016  
Inclusive Photoproduction of  $\eta$  Mesons on Nuclei and the In-medium Properties of the  $S_{11}$  Resonance
- [7] D.Truka et al., arXiv:nucl-ex/0504010v2, Phys.Rev.Lett. **94** (2005) 192303  
First observation of in-medium modification of the omega meson
- [8] S.Eidelman et al. Phys.Lett. **B 592** (2004) 1  
Review of Particle Physics