

## ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

**Модельно независимые значения брейт-вигнеровских параметров нуклонных резонансов  $S_{11}(1535)$  и  $S_{11}(1650)$  из экспериментальных данных по фоторождению  $\eta$ -мезонов на протонах**Е. В. Баландина<sup>a</sup>, Е. М. Лейкин, Н. П. Юдин*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцына (НИИЯФ МГУ), ОФВЭ. 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2.  
E-mail: <sup>a</sup>lena@kiron.sinp.msu.ru*

Приведены результаты феноменологического парциально-волнового анализа угловых распределений процесса  $\gamma p \rightarrow \eta p$ , измеренных в Университете Тохоку (Япония), и полученные на их основе модельно независимые оценки брейт-вигнеровских параметров нуклонных резонансов  $S_{11}(1535)$  и  $S_{11}(1650)$ .

PACS: 13.60Le, 14.20Gk.

*Ключевые слова:* фоторождение,  $\eta$ -мезон, нуклонный резонанс.

Статья поступила 02.04.2008, подписана в печать 22.09.2008.

Эта статья продолжает цикл работ, выполненных с целью получения из экспериментальных данных по фоторождению  $\eta$ -мезонов на протонах модельно независимых оценок брейт-вигнеровских характеристик ряда нуклонных резонансов [1, 3].

За последние примерно полтора десятилетия в ряде лабораторий Европы, США и Японии была существенно усовершенствована техника получения интенсивных пучков  $\gamma$ -излучения. Использование схем монохроматизации значительно расширило возможности экспериментальных исследований, улучшилось качество и повысилась точность экспериментальных данных. Основные результаты по фоторождению  $\eta$ -мезонов на протонах, полученные в Майнце [4], Гренобле [5, 6], Бонне [7, 8], Джефферсоновской лаборатории [9], были использованы в ряде теоретических работ с целью определения на основе разнообразных моделей<sup>1</sup> значений параметров большого числа нуклонных резонансов с массами вплоть до 2.5 ГэВ. К сожалению, результаты этих работ сильно различаются между собой и не могут рассматриваться как достоверные оценки даже таких величин, как энергии  $W_R$  и полные ширины  $\Gamma_R$  нуклонных резонансов.

Для получения модельно независимых оценок брейт-вигнеровских параметров нуклонных резонансов мы использовали феноменологический анализ, основанный целиком на стандартных статистических процедурах. Анализ состоит из двух этапов. Первый этап основан на парциально-волновом анализе угловых распределений экспериментальных наблюдаемых (дифференциальных сечений процесса  $\gamma p \rightarrow \eta p$ , асимметрии на пучке линейно-поляризованного  $\gamma$ -излучения и асимметрии на поляризованной протонной мишени), который представляет собой энергетически независимый анализ с использованием непараметрических моделей, что обеспечивает проверку статистических гипотез и получение достоверных величин вклада в изучаемый процесс различных парциальных волн. Второй этап основан на использовании для определения характеристик нуклонных резонансов брейт-вигнеровской параметризации. Существенным моментом является процедура проверки статистических гипотез при определении наиболее достоверных оценок

параметров резонансов. В работе [14] эта программа была реализована на материале экспериментальных данных, полученных сотрудничеством GRAAL в интервале энергий  $\gamma$ -квантов  $E_\gamma(W)$  714(1490)–1100(1716) МэВ ( $W$  — энергия в системе центра масс). Успешному выделению брейт-вигнеровских параметров трех нуклонных резонансов способствовало удачное разбиение авторами работы исследованной области энергий  $\gamma$ -квантов на интервалы шириной по  $W$  в пределах нескольких десятков МэВ, что позволило достаточно детально восстановить форму брейт-вигнеровских кривых. К сожалению, чрезвычайно широкие интервалы энергий  $\Delta W$  не позволили

Таблица 1  
Значения коэффициентов  $a_0, a_1, a_2$  для угловых распределений работы [15]  
( $\chi^2$  — величина  $\chi$ -квадрат на одну степень свободы)

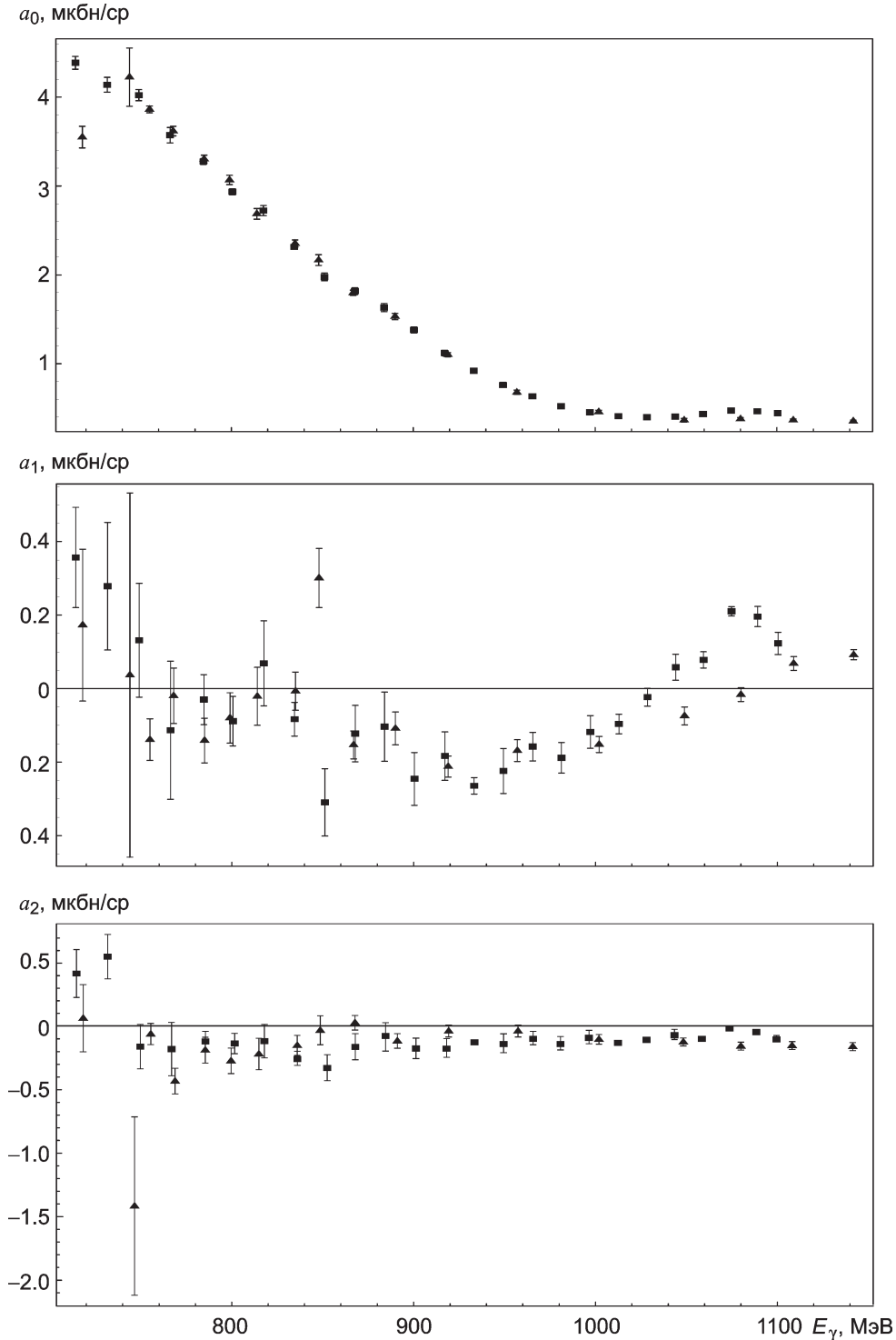
$E_\gamma$ , МэВ	$\chi^2$	$a_0$	$a_1$	$a_2$
718	0.5	3.55±0.12	0.17±0.21	-0.08±0.27
744	4.78	4.22±0.33	0.04±0.5	-1.41±0.71
755	0.3	3.86±0.04	-0.14±0.06	-0.06±0.08
768	0.57	3.62±0.05	-0.02±0.08	-0.42±0.11
785	0.43	3.30±0.04	-0.14±0.06	-0.19±0.09
799	0.9	3.07±0.05	-0.08±0.07	-0.29±0.01
814	0.98	2.69±0.06	-0.02±0.08	-0.23±0.12
835	0.44	2.35±0.04	-0.01±0.05	-0.16±0.08
848	0.87	2.17±0.06	0.3±0.08	-0.05±0.12
867	0.37	1.80±0.03	-0.15±0.04	0.01±0.05
890	0.65	1.53±0.04	-0.11±0.04	-0.12±0.07
919	0.37	1.10±0.02	-0.21±0.03	-0.04±0.04
957	0.7	0.68±0.02	-0.17±0.03	-0.04±0.04
1002	0.5	0.46±0.02	-0.15±0.02	-0.11±0.03
1049	0.45	0.37±0.02	-0.07±0.02	-0.13±0.04
1080	0.24	0.38±0.02	-0.02±0.02	-0.17±0.03
1109	0.13	0.37±0.01	0.07±0.01	-0.17±0.02
1142	0.17	0.36±0.01	0.09±0.01	-0.17±0.02

<sup>1</sup> В том числе модели с эффективным лагранжианом [10], кварковые модели [11], изобарные модели [12], дисперсионные соотношения [13] и др.

использовать для этой цели результаты работ [8] и [9]. В настоящей работе использованы данные о фоторождении  $\eta$ -мезонов на протонах в интервале энергий  $E_\gamma = 0.7-1.15$  ГэВ, полученные в Университете Тохоку (Сендай) [15], на основе которых удалось реализовать программу определения модельно независимых оценок двух резонансов  $S_{11}(1535)$  и  $S_{11}(1650)$ .

В табл. 1 приведены результаты первого этапа феноменологического анализа результатов работы [15], полученные способом, подробно описанным в работе [1,

формула (1)]. Как и в предыдущих анализах, в разложении по парциальным волнам (по полиномам Лежандра) удовлетворительное описание угловых распределений согласно статистическим критериям  $\chi^2/\nu$  и  $\mathcal{F}$  достиглось при использовании линейной модели с сохранением в разложении в ряд трех первых членов  $a_0$ ,  $a_1$  и  $a_2$ , которые содержатся в табл. 1. На рисунке приведено сравнение энергетического поведения коэффициентов  $a_i$ , полученных в результате анализа данных [15] (треугольники) и [5] (квадраты).



Зависимость коэффициентов регрессии  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  от энергии  $\gamma$ -квантов  $E_\gamma$ : треугольники — результаты анализа работы [15], квадраты — работы [5]

Таблица 2

**Модельно независимые брейт-вигнеровские параметры нуклонного резонанса  $S_{11}(1535)$  ( $\beta_{\eta N} = 0.55$ ,  $\beta_{\pi N} = 0.35$ )**

Источник данных	[5]	[15]
$\Delta W$ , МэВ	1490–1603	1492–1597
$A_{1/2}$ , $10^{-3}/\sqrt{\Gamma \text{эВ}}$	$99.23 \pm 1.01$	$97.55 \pm 2.15$
$W_R$ , МэВ	$1538.62 \pm 0.69$	$1539.01 \pm 1.23$
$\Gamma_R$ , МэВ	$163.0 \pm 4.09$	$154.46 \pm 8.16$
$\chi^2/\nu$	1.29	3.8

Таблица 3

**Модельно независимые брейт-вигнеровские параметры нуклонного резонанса  $S_{11}(1535)$  ( $\beta_{\eta N} = 0.55$ ,  $\beta_{\pi N} = 0.35$ ) и  $S_{11}(1650)$  ( $\beta_{\eta N} = 0.08$ ,  $\beta_{\pi N} = 0.77$ )**

Источник данных		[5]	[15]
$\Delta W$ , МэВ		1490–1676	1492–1688
$S_{11}(1535)$	$A_{1/2}$ , $10^{-3}/\sqrt{\Gamma \text{эВ}}$	$101.44 \pm 2.37$	$98.94 \pm 4.76$
	$W_R$ , МэВ	$1538.06 \pm 1.12$	$1538.29 \pm 1.78$
	$\Gamma_R$ , МэВ	$163.27 \pm 6.45$	$153.74 \pm 11.6$
$S_{11}(1650)$	$A_{1/2}$ , $10^{-3}/\sqrt{\Gamma \text{эВ}}$	$36.2 \pm 5.8$	$30.18 \pm 11.88$
	$W_R$ , МэВ	$1636.58 \pm 1.4$	$1635.55 \pm 4.83$
	$\Gamma_R$ , МэВ	$78.24 \pm 11.2$	$71.41 \pm 28.34$
$\chi^2/\nu$		1.30	3.59

Анализ данных [15] был проведен при 18 значениях энергий  $\gamma$ -квантов  $E_\gamma$  в интервале  $718 \div 1142$  МэВ. Для получения модельно независимых оценок брейт-вигнеровских параметров нуклонных резонансов без обращения к каким-либо теоретическим моделям на основе исключительно статистических методов использована процедура работы [14]. Благодаря разбиению исследованной области энергии на интервалы по  $W$  шириной в несколько десятков МэВ удалось выделить брейт-виг-

неровские параметры резонансов  $S_{11}(1535)$  и  $S_{11}(1650)$ , которые, как видно из табл. 2 и 3 (где  $\beta$  — вероятности распада резонансов по различным каналам,  $W$  — энергия в СЦМ), в пределах точности эксперимента совпадают с результатами, полученными в работе [14].

**Список литературы**

1. Баландина Е.В., Лейкин Е.М., Юдин Н.П. // Ядерная физика. 2002. **65**. С. 1755.
2. Баландина Е.В., Лейкин Е.М., Юдин Н.П. // Ядерная физика. 2004. **67**. С. 1403.
3. Баландина Е.В., Лейкин Е.М., Юдин Н.П. // Ядерная физика. 2006. **69**. С. 1338.
4. Krusche B., Ahrens J., Anton G. et al. // Phys. Rev. Lett. 1995. **74**. P. 3736; Phys. Rev. Lett. 1995. **75**. P. 3023.
5. Renard F., Anghinolfi M., Bartalini O. et al. // Phys. Lett. B. 2002. **528**. P. 215.
6. Rebreyend D. et al. // <http://gwdac.phys.gwu.edu>.
7. Soezueer L. et al. // <http://gwdac.phys.gwu.edu>.
8. Crede V., Bartholomy O., Anisovich A.V. et al. // Phys. Rev. Lett. 2005. **94**. P. 012004.
9. Dugger M., Ritchie B.G., Ball J. et al. // Phys. Rev. Lett. 2002. **89**. P. 222002.
10. Benmerrouche M., Mukhopadhyay N.C., Zhang J.F. // Phys. Rev. D. 1995. **51**. P. 3237; Mukhopadhyay N.C., Mathur N. // Phys. Lett. 1998. **444**. P. 7; Davidson R.M., Mathur N., Mukhopadhyay N.C. // Phys. Rev. C. 2000. **62**. P. 058201.
11. Saghai B., Li Zh. // Eur. Phys. J. A. 2001. **11**. P. 217.
12. Chiang W-T., Yang S.N., Tiator L., Drechsel D. // Nucl. Phys. A. 2002. **700**. P. 429; Chiang W-T., Yang S.N., Tiator L. et al. // Phys. Rev. C. 2003. **68**. P. 045202.
13. Aznauryan I.G. // Phys. Rev. C. 2003. **68**. P. 065204.
14. Balandina E.V., Leikin E.M., Yudin N.P. // nucl-th 0705.1501.
15. Nakabayashi T., Fukasawa H., Hashimoto R. et al. // Phys. Rev. C. 2006. **74**. P. 035202.

**Model independent Breit–Wigner parameters of nucleon resonances  $S_{11}(1535)$  and  $S_{11}(1650)$  from experimental data on  $\eta$ -photoproduction on proton**

E. V. Balandina<sup>a</sup>, E. M. Leikin, **N. P. Yudin**

*Department of High Energy Experimental Physics, Skobeltsyn Research Institute of Nuclear Physics, Moscow State University, Moscow 119991, Russia.*

*E-mail: <sup>a</sup>lena@kiron.sinp.msu.ru.*

The results of the phenomenological partial-wave analysis of the angular distribution for the process  $\gamma p \rightarrow \eta p$  measured at Laboratory of Nuclear Science (Tohoku University, Japan) are given. Model independent Breit–Wigner parameters of nucleon resonances  $S_{11}(1535)$  and  $S_{11}(1650)$  are obtained.

PACS: 13.60Le, 14.20Gk.

*Keywords:* photoproduction,  $\eta$ -meson, nucleon resonance.

*Received 2 April 2008.*

English version: *Moscow University Physics Bulletin* 1(2009)

Сведения об авторах

1. Баландина Елена Викторовна — ученая степень, ученое звание, должность; контактная информация (тел.: 939-35-68, e-mail: lena@kiron.sinp.msu.ru).

2. Лейкин Евгений Моисеевич — д. ф.-м. н., вед. научн. сотр.; тел.: 939 23 95, e-mail: leikin@sinp.msu.ru.

3. **Yudin Николай Прокофьевич** — к. ф.-м. н., доцент, доцент.