

АНОМАЛЬНАЯ P -ВОЛНА В РАССЕЯНИИ $\bar{p}N$ ПРИ НИЗКИХ ЭНЕРГИЯХ И $\bar{p}p$ -АТОМ

О.Д.Далькаров, К.В.Протасов

В квазядерной модели связанных каналов вычислено поведение отношения реальной части к мнимой для амплитуды $\bar{p}N$ -рассеяния вперед и ядерные сдвиги $1S$ - и $2P$ -уровней $\bar{p}p$ -атома. Результаты вычислений указывают на аномально большой вклад P -волны, обусловленный квазядерными $N\bar{N}$ -резонансами.

В экспериментах, ведущихся в ЦЕРНе (на антипротонном накопителе LEAR) при недоступных ранее импульсах налетающего антипротона ($K_{\bar{p}} \leq 300$ МэВ/с в лаб. системе координат) был обнаружен необычно большой вклад P -волны в $\bar{p}p$ -взаимодействии при низких энергиях ¹. Это явление было предсказано сравнительно давно в первых работах по теории квазядерных барион-антибарионных резонансов (см. обзор ²). Расчеты, выполненные в последнее время в квазядерной модели связанных каналов (МСК) ³, количественно воспроизводят данные LEAR, в частности, необычно большой вклад P -волны. В настоящей статье мы обсудим предсказания МСК для поведения параметра ρ – отношения реальной части к мнимой для амплитуды $\bar{p}N$ -рассеяния вперед и ядерных сдвигов $1S$ - и $2P$ -уровней $\bar{p}p$ -атома. Экспериментальные данные, полученные на LEAR ⁴, показывают очень быстрое возрастание отношения ρ с увеличением импульса \bar{p} с $K_{\bar{p}} = 0$ до ~ 300 МэВ/с (см. рис. 1). Как было впервые отмечено в ⁵ быстрый рост ρ с увеличением импульса в узком диапазоне значений от 0 до 300 МэВ/с может быть объяснен в предположении большого вклада P -волны в этой области. Результаты вычислений в МСК, показанные на рис. 1, подтверждают это наблюдение. Качественно, эффект быстрого возрастания ρ состоит в том, что знаки действительных частей S - и P -волновых амплитуд $\bar{p}p$ -рассеяния вперед противоположны, поэтому сравнительно большой вклад и быстрое возрастание P -волновой амплитуды приводят к компенсации вкладов S - и P -амплитуд и занулению величины ρ в области импульсов ~ 300 МэВ/с. В расчетах ρ мы не учитывали кулоновские эффекты, которые могут увеличить ρ по абсолютной величине при $K_{\bar{p}} = 0$ примерно на 5% (в области $K_{\bar{p}} \sim 300$ МэВ/с кулоновские поправки малы). Вместе с тем следует заметить, что извлечение параметра ρ из данных по $\bar{p}p$ -рассеянию в области кулон-ядерной интерференции необходимо производить по формулам, корректно учитывающим интерференцию кулоновского и ядерного взаимодействий ⁶. Это может уменьшить экспериментальные значения ρ в области $K_{\bar{p}} \approx \approx 200$ МэВ/с на величину порядка $\Delta\rho \approx 0,05$, что приведет к лучшему согласию экспериментальных результатов с теоретической кривой на рис. 1.

Эффект резкого возрастания вклада P -волны еще более ярко проявляется в поведении величины ρ для $\bar{N}N$ -амплитуды в изоспиновом состоянии $I=1$, т. е. для $\bar{p}n$ (или $\bar{p}p$)-рассеяния (рис. 2). В настоящее время извлечение величины ρ в состоянии с $I=1$ возможно только из данных по \bar{p} -ядерному рассеянию^{7,8}. Полученное в⁸ значение $\rho_{\bar{p}n}$ при импульсе антипротона $K_{\bar{p}} \approx 600$ МэВ/с, как это видно из рис. 2, не противоречит нашим вычислениям.

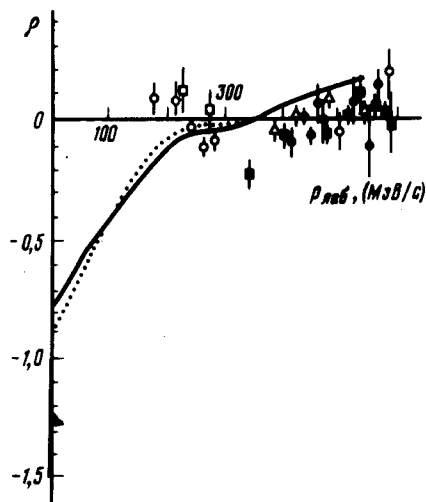


Рис. 1

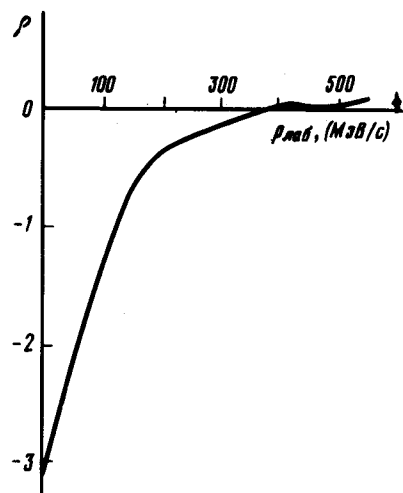


Рис. 2

Рис. 1. Отношение реальной части к мнимой для амплитуды $\bar{p}p$ -рассеяния вперед. Экспериментальные данные из⁴, сплошная кривая – теоретический расчет в МСК, точечная кривая – с учетом пь-порога

Рис. 2. Отношение реальной части к мнимой для амплитуды $\bar{p}n$ -рассеяния вперед. Экспериментальное значение из⁸

Одновременно с описанием в МСК данных по $\bar{p}p$ -рассеянию мы вычислили низкоэнергетические параметры $\bar{p}N$ -рассеяния для S - и P -волн. В таблице 1 приведены S -волновые длины рассеяния a и величина ρ для амплитуды $\bar{p}N$ рассеяния вперед при нулевой энергии. Значение $\rho_{\bar{p}p} = 1,08^*$ отвечает изменению безразмерного параметра аннигиляции в МСК³ (с $\lambda = 3,9$ до $\lambda = 4,0$) в 1S_0 -волне, что не приводит к сколько-нибудь заметному изменению полученных результатов при $K_{\bar{p}} \geq 300$ МэВ/с. Необходимо отметить, что учет порога $\bar{p}n$ в $\bar{p}p$ -рассеянии по процедуре, указанной в⁵ (см. также рис. 1), приводит к изменению ρ примерно на 10%. Кроме того, кулоновские поправки к $\rho_{\bar{p}p}(0)$ также увеличивают $\rho_{\bar{p}p}(0)$ по абсолютной величине примерно на 5%. С учетом этих поправок величина $\rho_{\bar{p}p}(0)$ принимает следующие значения: $\rho_{\bar{p}p}(0) \approx 0,88$ и $\rho_{\bar{p}p}^*(0) \approx 1,24$.

Т а б л и ц а 1

$2I+1$ $2S+1$ L_J	Re a , Фм	Im a , Фм	ρ
1S_0	- 1,92	6,10	-
	- 2,45*	4,27*	-
3S_0	- 1,28	0,24	-
1S_1	- 0,34	0,34	-
3S_1	- 0,71	0,29	-
S -волна	$\bar{p}p$	1,03	- 0,77
	$\bar{p}p$	- 0,86*	0,8*
	$\bar{p}n$ ($I=1$)	- 0,85	0,28
			- 1,08*
			- 3,07

Экспериментальных данных по измерению $\rho_{\bar{p}n}$ в настоящее время нет. Однако, оценка $\text{Im}a_{\bar{p}n} = 0,235 \pm 0,121$, сделанная на основе данных об аннигиляции остановившихся \bar{p} в ${}^4\text{He}$, согласуется со значением $\text{Im}a_{\bar{p}n} = 0,28$ приведенным в таблице 1.

Соответствующие сдвиги и ширины $1S$ -уровня $\bar{p}p$ -атома, вычисленные с использованием S -волновых длин рассеяния из таблицы 1 оказались равными: $\text{Re}(\Delta E_{1S}) = 0,68 (0,74^*) \text{КэВ}$ и $\Gamma_{1S} = 1,79 (1,39^*) \text{КэВ}$. Эти значения не противоречат имеющимся данным о сдвигах и ширинах $1S$ -уровня $\bar{p}p$ -атома ¹⁰.

В таблице 2 мы приводим P -волновые длины $\bar{p}p$ -рассеяния. Вычисленные сдвиг и ширина $2P$ -уровня $\bar{p}p$ -атома равны в этом случае: $\text{Re}(\Delta E_{2P}) = -18 \text{ мэВ}$, $\Gamma_{2P} = 39 \text{ мэВ}$. Полученное значение Γ_{2P} неплохо согласуется с измеренной на опыте большой величиной ширины $2P$ -уровня $\bar{p}p$ -атома: $\Gamma_{2P}^{\text{эксп}} = 39,8 \pm 10,7 \text{ мэВ}$ ¹⁰.

Т а б л и ц а 2

${}^{2S+1}L_J$	$\text{Re}A_P, (\text{ГэВ/с})^{-3}$	$\text{Im}A_P, (\text{ГэВ/с})^{-3}$
1P_1	84	64
3P_0	71	105
3P_1	-4	96
3P_2	53	130
P -волна	48	104

Следует отметить, что сравнение с аналогичными расчетами в оптических моделях ¹¹, указывает на существенно большее значение длины рассеяния в P -волне, полученное в наших расчетах (например, $\text{Re}A_P$ более чем в 3 раза превосходит аналогичную величину в ¹¹).

Увеличение P -волны в наших вычислениях обусловлено, как уже неоднократно подчеркивалось, существованием спектра вблизипороговых P -резонансов квазиядерной природы.

Авторы выражают искреннюю благодарность И.С.Шапиро за полезные и стимулирующие обсуждения.

Литература

1. Brückner W. et al. Phys. Lett., 1986, 166B, 113.
2. Bogdanova L.N., Dalkarov O.D., Shapiro I.S. Ann. Phys. (N.Y.), 1974, 84, 261.
3. Shapiro I.S. Invited talk at XI International Conference PANIC-87, April 20 - 24.
4. Paul S. In Proc. of IV LEAR Workshop, Switzerland, 6 September 1987.
5. Далькаров О.Д., Прорасов К.В. Письма в ЖЭТФ, 1986 39, 638.
6. Kudrjatzev A.E., Markushin V.A. Preprint ITEP-179, 1985.
7. Dalkarov O.D., Karmanov V.A. Nucl. Phys. 1985, A445, 579.
8. Bendiscioli G., Rotondi A., Salvini P., Zenoni A. Nucl. Phys., 1987, A469, 669.
9. Sapozhnikov M.G. CERN-Report, 1987.
10. Simons L.M. In Proc. of IV LEAR Workshop, Switzerland, 6 - 13 September 1987.
11. Richard J.-M. In Proceedings of a Workshop on Physics at LEAR with Low-Energy Cooled Antiprotons, 1982, p. 83.