

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ МУЛЬТИПИОН-ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

А. С. Ильинов

УДК 539.172.5

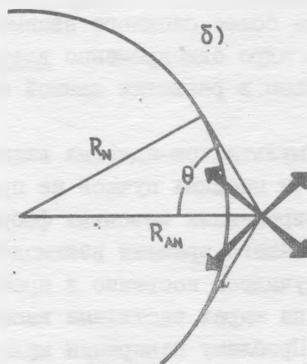
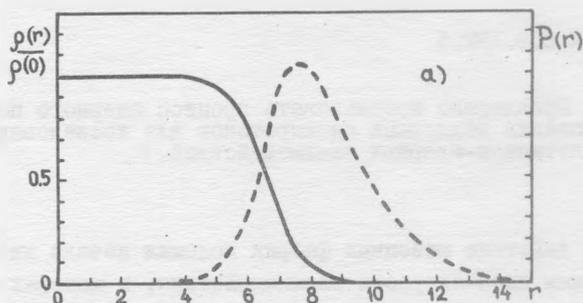
Предложено использовать процесс ядерного поглощения медленных антипротонов для исследования мультипион-ядерных взаимодействий.

Ввод в действие мезонных фабрик положил начало интенсивным исследованиям пион-ядерного взаимодействия, в которых извлекается ценная информация о механизме этого взаимодействия, структуре ядра, свойствах высоковозбужденной ($E^* \sim \epsilon_{\text{ш.к}}$) ядерной материи. Можно надеяться, что изучение более сложного взаимодействия - мультипион-ядерного, когда в ядро одновременно влетает несколько пионов - явится новым этапом в развитии данной области ядерной физики.

Прямой способ генерации мультипион-ядерных взаимодействий путем увеличения интенсивности пионных пучков не представляется возможным не только на современных мезонных фабриках, но и в ближайшем будущем. До настоящего времени взаимодействие многопионных систем с ядрами изучалось косвенно в процессах множественного рождения пионов на ядрах частицами высокой энергии (см., например, обзор /1/). Проблему генерации мультипион-ядерных взаимодействий можно решить другим, более близким к прямому, способом, если приблизить нерелятивистский источник пионов непосредственно к поверхности ядра.

В данной работе предлагается использовать для исследования мультипион-ядерных взаимодействий процесс поглощения ядром антипротона, находящегося в связанном состоянии на орбите \bar{p} -атома. Известно /2-4/, что поглощение антипротона происходит в "атмосфере" ядра в области чрезвычайно низкой плотности нуклонов ρ

и, соответственно, больших межнуклонных расстояний. На рис. 1а в качестве примера показана расчетная зависимость вероятности поглощения антипротона $P(r)$ с орбиты \bar{p} -атома ^{208}Pb , взятая из работы /5/.



Р и с. 1 а) Распределения плотности ядерного вещества $\rho(r)/\rho(0)$ (сплошная кривая) и вероятности поглощения $P(r)$ (пунктир) антипротона с орбиты \bar{p} -атома ^{208}Pb . б) Упрощенная геометрическая картина, использованная для оценок средней множественности пионов, образованных при захвате \bar{p} ядром. Стрелками изображены аннигиляционные пионы

Основным механизмом ядерного \bar{p} -захвата является аннигиляция антипротона на квазисвободном нуклоне /2-4/, которая в данном случае и служит источником пионов. Из экспериментальных данных следует, что при малых энергиях \bar{p} доминирует пионный канал



При аннигиляции испускается от 2 до 8 пионов; распределение имеет узкий пик при $n = 5$. Среднее значение множественности составляет $\langle n_{\pi} \rangle_{\bar{p}N} = 5,0 \pm 0,2$ /6/.

Для грубой оценки среднего числа влетающих в ядро пионов можно использовать подход, который основан на предположении, что вылетевшие из точечного источника пионы движутся по классическим траекториям. Такое рассмотрение является достаточно разумным, так как размер области аннигиляции /7/ мал: $r_{AN} \sim 1/2m_N \approx 0,1$ Фм, а длина волны пиона λ_{π} в несколько раз меньше расстояния между нуклонами в ядре. Ранее аналогичный подход успешно применялся для расчета перезарядки пионов, образующихся после захвата ядрами остановившихся \bar{p} /8/.

Поскольку при аннигиляции в покое пионы испускаются изотропно /6/, число пионов, одновременно влетевших в ядро, состоящее из $(A-1)$ нуклонов, будет определяться телесным углом $\Delta\Omega = 2\pi(1 - \cos\theta)$ (см. рис. 1б). Средняя кинетическая энергия пионов $\langle E_{\pi} \rangle \approx 230$ МэВ /6/ лежит в области $\Delta(3,3)$ -резонанса, поэтому можно считать, что все пионы, попавшие в область $r \leq R_N$, поглощаются ядром (R_N - радиус половинного спада ядерной плотности). Заменяв расчетное /5/ распределение $P(r)$ на $P(r) = \delta(R_{AN} - r)$, для $\langle n_{\pi}^A \rangle_{1N}$ будем приближенно иметь

$$\langle n_{\pi}^A \rangle_{1N} = 0,5(1 - \sqrt{1 - R_N^2/R_{AN}^2}) \langle n_{\pi} \rangle_{\bar{p}N}$$

Средние множественности $\langle n_{\pi}^A \rangle_{1N}$, рассчитанные при $R_{AN} = R_N + t/2$ (см. рис. 1б) и значениях радиусов R_N и толщины диффузного слоя ядра t , взятых из работы /9/, приведены в таблице. Здесь же показано сравнение расчетных и экспериментальных /10/ средних мно-

жественностей пионов, вылетающих из ядер после поглощения оставившихся антипротонов, $\langle n_{\pi^{\pm}}^A \rangle_{out} = \langle n_{\pi^{\pm}} \rangle_{pN} - \langle n_{\pi^{\pm}}^A \rangle_{in}$. В расчете использовалось экспериментальное /5, II/ значение множественности $\langle n_{\pi^{\pm}} \rangle_{pp} \approx \langle n_{\pi^{\pm}} \rangle_{pN} \approx 3,15$.

Таблица

Средние множественности пионов, образовавшихся при аннигиляции \bar{p} в покое в различных ядрах

Ядро	$\langle n_{\pi^{\pm}}^A \rangle_{in}$	$\langle n_{\pi^{\pm}}^A \rangle_{out}$	
		Расчет	Эксперимент /10/
$^{12}_C$	0,63	2,75	2,79
$^{48}_{Ti}$	0,92	2,57	2,58
$^{181}_{Ta}$	1,17	2,41	2,47
$^{208}_{Pb}$	1,20	2,40	2,44

Несмотря на то, что среднее значение $\langle n_{\pi^{\pm}}^A \rangle_{in}$ невелико, распределение по числу влетевших в ядро пионов $n_{\pi^{\pm}}^{in}$ будет весьма широким. Как видно из рис. 1, с достаточно большой вероятностью аннигиляция происходит при $r \approx R_N$. В этом случае число влетевших в ядро пионов $n_{\pi^{\pm}}^{in} \approx n/2$ будет изменяться в пределах $1 \leq n_{\pi^{\pm}}^{in} \leq 4$. Кроме того, из экспериментов /II/ по $\bar{p}N$ -аннигиляции следует, что часть пионов может влететь в ядро скоррелированно в виде ρ -, ω -, η -мезонов. Это не только увеличит долю мультипион-ядерных взаимодействий, но и позволит исследовать в процессе \bar{p} -захвата взаимодействия пионных резонансов с ядрами.

Имеется другая возможность уменьшения R_{AN} и, следовательно, увеличения значения $\langle n_{\pi^{\pm}}^A \rangle_{in}$. Этого можно добиться, бомбардируя ядра медленными \bar{p} с импульсом $< 0,5$ ГэВ/с. Поскольку полное сечение $\bar{p}N$ -взаимодействия в этой энергетической области превышает 200 мб /12/, аннигиляция будет происходить в поверхностном слое

ядра. Увеличение энергии \bar{p} будет сдвигать распределение $P(r)$ в область меньших r вследствие зависимости $\sigma_{\text{tot}}(\bar{p}N) \sim 1/v$ /12/, где v - скорость \bar{p} .

Таким образом, для исследования мультипион-ядерных взаимодействий необходимы пучки \bar{p} малой энергии. Большие возможности для реализации такой программы исследований открывает создание в ЦЕРНе установки LEAR /13/. Поэтому становится актуальным вопрос о возможности экспериментального обнаружения мультипион-ядерных взаимодействий на такой установке. На наблюдение таких взаимодействий может указывать:

а) в области легких ядер - одновременная регистрация двух пар нуклонов с энергиями $E_N \approx m_N/2$ и углом разлета 180° в с.ц.м. каждой пары. Эти нуклоны могут образоваться в результате двух-нуклонного поглощения двух пионов /14/;

б) в области тяжелых ядер - обнаружение остаточных ядер, потерявших после \bar{p} -захвата больше 20 нуклонов. После поглощения одного пиона из тяжелого ядра вылетает меньше 15-17 нуклонов /14/;

в) измерение характеристик вылетевших после \bar{p} -захвата пионов в совпадении с продуктами ядерного расщепления ядра или с остаточным ядром, в принципе, даст возможность определить число провзаимодействовавших пионов с ядром.

Следует упомянуть также о возможности исследования мультипион-ядерных взаимодействий в процессе аннигиляции быстрых \bar{p} , когда источник пионов находится внутри ядра /15/. Этот случай является более сложным по сравнению с захватом \bar{p} с орбиты адронного атома. Малая длина свободного пробега ($\sim 0,1$ Фм) пионов в ядерном веществе с плотностью $\rho(0)$ при энергии в области (3,3)-резонанса вызывает большие трудности в понимании явления передачи ядру высвободившейся при аннигиляции энергии. Поэтому в связанной цепи дополняющих друг друга исследований - пион-ядерное взаимодействие (источник пионов бесконечно удален от ядра), мультипион-ядерное взаимодействие в процессе захвата с орбиты \bar{p} -атома (источник пионов расположен у поверхности ядра) и мультипион-ядерное взаимодействие при аннигиляции быстрых \bar{p} в ядре (источник пионов находится внутри ядра) - целесообразно начать изучение наиболее близкого к исходному промежуточного звена.

В заключение отметим, что пионы обладают высокой эффективностью передачи ядру высвободившейся при аннигиляции энергии, равной $2m_N$. В результате мультипион-ядерные взаимодействия позволяют распространить исследования высоковозбужденного ядерного вещества в практически неизученную область энергий возбуждения $m_\pi \leq E^* \leq m_N$.

Автор благодарен В. М. Лобашеву, М. В. Казарновскому и В. Б. Копелиовичу за ценные замечания.

Поступила в редакцию
13 марта 1980 г.

Л и т е р а т у р а

1. W. Beusch. In Proc. of the Int. Conf. on High Energy Phys. and Nucl. Structure. Ed. by V. P. Dzheleпов et al., JINR D1-6349, Dubna, 1972, p. 39.
2. E. H. S. Burhop. In "High Energy Physics". Ed. E. H. S. Burhop. Academic Press, NY, 1969, vol. 111, p. 109.
3. D. K. Anderson, D. A. Jenkins. In "Nuclear Spectroscopy and Reactions". Ed. J. Cerny. Academic Press, NY, 1974, Part B, p. 457.
4. L. Tauscher. In Proc. Int. School on Exotic Atoms and Related Topics. Eds. G. Fiorentini and G. Torelli, Eric, Italy, 1977.
5. R. Seki, C. E. Wiegand. Ann. Rev. Nucl. Sci., 25, 241(1975).
6. C. Ghesquiere. In Proc. Symp. on Antinucleon-Nucleon Interactions, Liblice-Prague, 1974. CERN 74-18, Geneva, 1974, p. 436.
7. I. S. Shapiro. Phys. Reports, 35C, 131 (1978).
8. W. J. Gerace, M. M. Sternheim, J. F. Walker. Phys. Rev.Lett., 33, 508 (1974).
9. R. Engfer et al. Atomic Data & Nucl. Data Tables, 14, 509 (1974).
10. W. M. Bugg et al. Phys. Rev. Lett., 31, 475 (1973).
11. Armenteros, B. French. In "High Energy Physics". Ed. E.H.S. Burhop. Academic Press, NY, 1969, vol. IV, p. 237.

12. V. Flaminio et al. CERN-HERA 79-03, Geneva, 1979.
13. CERN Courier, vol. 6, No. 19, p. 260, 1979.
14. A. S. Iljinov et al. Nucl. Phys., A268, 513 (1976).
15. J. Rafelski. Preprint Ref. TH-2760-CERN, Geneva, 1979.