

ДВУХНУКЛОННОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ АНТИПРОТОНОВ  
СЛОЖНЫМИ ЯДРАМИ

А. С. Ильинов, В. Л. Матушко

УДК 639.175.5

Показано, что антипротон может поглощаться коррелированной парой нуклонов ядра с последующей эмиссией из него пиона и нуклона высокой энергии. В рамках квазидейтонной модели выполнены оценки сечения этого процесса и продемонстрирована возможность его экспериментального обнаружения.

Известно, что основным механизмом поглощения антипротона ядром является одонуклонный (см., например, работу /1/). В этом случае антипротон аннигилирует на отдельном внутриядерном нуклоне:  $\bar{p}N \rightarrow \pi N$  ( $2 < i < 8$ ); образовавшиеся пионы затем вы-

летают из ядра или поглощаются им. Наряду с этим, возможен другой механизм, когда антипротон поглощается коррелированной парой нуклонов:

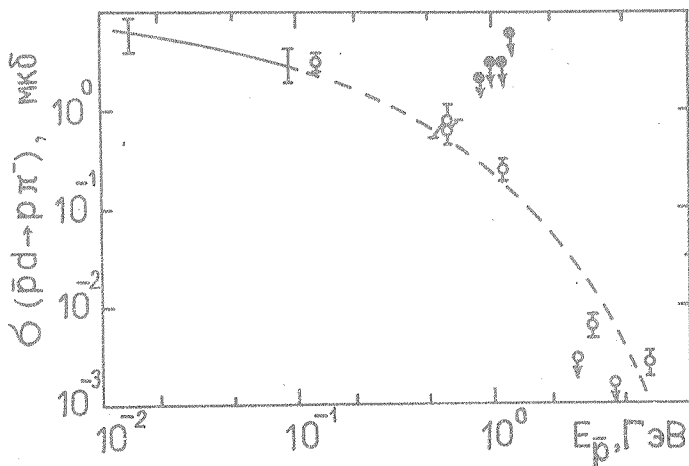


Выделяющаяся в реакции (I) энергия  $Q = 2M - m \approx 1,74$  ГэВ ( $M$  и  $m$  — массы  $N$  и  $\pi$ , соответственно) распределится в соответствии с законом сохранения энергии-импульса между нуклоном и пионом, которые в системе центра масс антипротона и  $NN$ -пары разлетаются в противоположные стороны с энергиями  $E_N^* = 2M/3 \approx 0,62$  ГэВ и  $E_\pi^* = 4M/3 - m \approx 1,12$  ГэВ (значения приведены для  $E_{\bar{p}} = 0$ ). Столь большие значения энергии продуктов в сочетании с фактом эмиссии их под большими углами разлета  $\Theta_{\pi N}^* \approx 180^\circ$  позволяют надежно выделить процесс (I) на фоне менее энергичных продуктов однонуклонного поглощения, для которых  $E_N \leq 0,4$  ГэВ и  $E_\pi \leq M/1/$ .

Для грубой оценки сечения  $\sigma_A(p\pi^-)$  канала  $\bar{p} + (np) \rightarrow p + \pi^-$ , наиболее подходящего для корреляционной постановки эксперимента по поиску двухнуклонного  $\bar{p}A$ -поглощения, можно воспользоваться в качестве нулевого приближения квазидейтонной моделью, которая была предложена в работе /2/ для описания двухнуклонного поглощения пионов ядрами:  $\pi + (NN) \rightarrow N + N$ . В этой модели сечение реакции (I) на ядре можно связать с сечением аналогичной реакции на дейтоне:

$$\sigma_A(p\pi^-) = G(A, E_{\bar{p}}) \sigma_d(p\pi^-). \quad (2)$$

При этом основные сведения об элементарном процессе поглощения антипротона  $NN$ -парой содержатся в сечении  $\sigma_d$ . К сожалению, реакция  $\bar{p}d \rightarrow p\pi^-$  в настоящее время практически не исследована: при  $E_{\bar{p}} \approx 0$  измерена /3/ лишь вероятность этого канала  $w(p\pi^-) = (0,9 \pm 0,4) \cdot 10^{-2}$ , а в области больших энергий получены /4/ пределы на величину  $\sigma_d$ . Дополнительные данные по  $\sigma_d$  были извлечены из экспериментальных сечений /4/ обратной реакции  $\pi^-p \rightarrow d\bar{p}$ , используя принцип детального баланса. Сводка экспериментальных значений  $\sigma_d$  представлена на рис. 1; на нем также показана энергетич-



Р и с. 1. Энергетическая зависимость сечения  $\sigma_d(p\bar{d})$ . Темными и светлыми значками показаны данные, полученные из измерений /4/ прямой  $\bar{p}d \rightarrow p\pi^-$  и обратной  $\pi^-p \rightarrow \bar{p}d$  реакции, соответственно. Пунктирная кривая проведена через экспериментальные точки, сплошная кривая — эмпирическая /3-5/ зависимость

ческая зависимость  $\sigma_d$ , полученная из данных по полному сечению  $\bar{p}d$ -взаимодействия  $\sigma_{tot}(\bar{p}d)$  с использованием эмпирического факта /5/, что вероятность  $w(p\pi^-)$  слабо меняется в интервале энергий  $0 < E_p < 100$  МэВ.

Входящая в выражение (2) величина  $G$  учитывает поправки, обусловленные тем, что процесс (I) протекает не на свободном дейтоне, а на одной из NN-пар в ядре: а) большее число участвующих в реакции NN-пар ядра, б) разные значения вероятности найти два нуклона в дейтоне  $P_d(r_{abs}) \sim |\psi_d(r_{abs})|^2$  и в ядре  $P_A(r_{abs}) \sim |\psi_{NN}(r_{abs})|^2$  на характерном расстоянии, определяемом передаваемым продуктам поглощения импульсом. Большое значение выделяемой энергии  $Q$  в процессе (I) обуславливает малые значения  $r_{abs}^p \sim 1/M \sim 0,2$  фм. Поэтому изучение двухнуклонного поглощения антипротонов в принципе может дать информацию о значительно более короткодействующих корреляциях в ядрах, чем те,

которые традиционно исследуются с помощью реакции двухнуклонного поглощения пионов, где  $r_{\text{abs}}^{\pi} \sim 1/\sqrt{Mm} \sim 0,6 \text{ Фм} / 2/$ . На столь малых расстояниях в волновых функциях  $\psi_d$  и  $\psi_{NN}$  существенную роль могут играть кварковые эффекты /6/; по-видимому, тогда более правильно говорить, что антипротон поглощается не двумя нуклонами, а шестикварковой конфигурацией. Отметим, что приведенные оценки являются качественными; более определенный вывод о том, какая часть радиальной волновой функции  $\psi_{NN}$  играет определяющую роль в процессе (I), требует детального экспериментального и теоретического изучения элементарной реакции  $\bar{p}d \rightarrow p\pi^{-}$ .

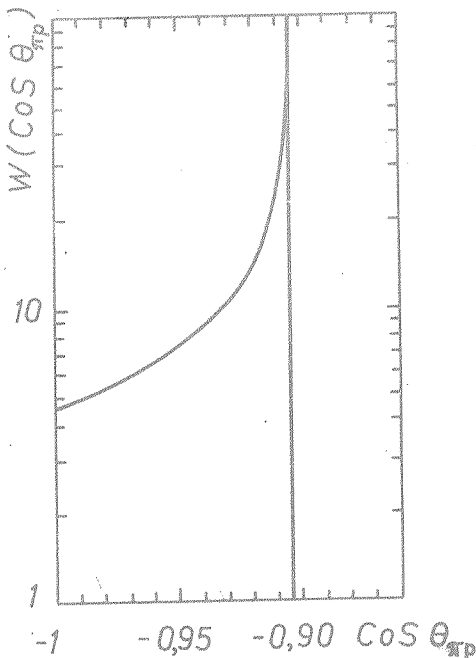
Поскольку относительный вес кваздейтонных пар (или шестикварковых "капель") в легких и средних ядрах в 10-100 раз превышает их вес в дейтоне /6/, следует ожидать роста сечения реакции (I) с увеличением массового числа  $A$  ядра-мишени. Абсолютная величина сечения  $\sigma_A$  (или функции  $G$ ) определяется тем, какая доля от полного числа  $NN$ -пар участвует в реакции, т.е. в какой области ядра поглощается антипротон. При  $E_{\bar{p}} \approx 0$  поглощение происходит в области, где плотность ядерного вещества мала:  $\rho/\rho_0 \sim 10^{-1}$  и, следовательно, междуклонные расстояния велики  $/L/$ , поэтому процесс (I) должен быть подавлен. Но уже при энергии  $E_{\bar{p}} \approx 0,1 \text{ ГэВ}$  антипротон с достаточно большой вероятностью /7/ проникает в область насыщенного ядерного вещества  $\rho \sim \rho_0$ , где этот эффект подавления отсутствует. В результате действия двух противоположных факторов — роста сечения  $\sigma_A$  при малых  $E_{\bar{p}}$  из-за более глубокого проникновения  $\bar{p}$  в ядро с увеличением энергии и падения  $\sigma_A$  с ростом энергии при больших  $E_{\bar{p}}$  — в энергетической зависимости  $\sigma_A(E_{\bar{p}})$  должен существовать максимум.

Таким образом, для обнаружения и дальнейшего исследования двухнуклонного поглощения антипротонов ядрами необходимо проводить эксперименты как на дейтоне, так и на сложных ядрах, направленные прежде всего на измерение зависимости сечения  $\sigma_A$  от энергии  $E_{\bar{p}}$  и от массового числа  $A$  мишени. Широкие перспективы для развития этих исследований открывает советско-итальянский эксперимент /8/, проводимый в ЦЕРНе на установке LEAR. При выбранной в этом эксперименте энергии пучка  $E_{\bar{p}} = 0,175 \text{ ГэВ}$  значения энергий продуктов реакции  $\bar{p}d \rightarrow p\pi^{-}$  в л. системе будут лежать в интервалах  $E_p = 0,71 \pm 0,27 \text{ ГэВ}$ ,  $E_{\pi} = 1,22 \pm 0,27 \text{ ГэВ}$ ,

а углы их разлета будут распределены по закону  $W(\cos\theta_{\text{пр}}) \sim (\cos\theta_{\text{пр}}^{\text{min}} - \cos\theta_{\text{пр}})^{-1/2}$ , где  $\theta_{\text{пр}}^{\text{min}} = 155^\circ$  (см. рис. 2)\*).

Сечение составит  $\approx 3$  мкбн.

В данном эксперименте можно проводить измерения не только на дейтерии, но и на ядрах He и Ne. Чтобы перейти к этим ядрам, предположим, что процессы двухнуклонного поглощения пионов и



Р и с. 2. Распределение по углу разлета  $\theta_{\text{пр}}$  пиона и протона, образовавшихся в реакции  $\bar{p}d \rightarrow p\pi^-$  при  $E_{\bar{p}} = 175$  МэВ. Площадь под кривой нормирована на единицу

\* Результаты получены для изотропного углового распределения продуктов реакции  $\bar{p}d \rightarrow p\pi^-$  в с.ц.м. На такой вид распределения указывают измерения /9/ обратной реакции  $\pi^- p \rightarrow \bar{p}d$ , выполненные при соответствующей энергии.

антипротонов имеют близкие зависимости сечений от массового числа, если  $\pi A$ - и  $pA$ -поглощение происходят в одной и той же области ядра. Это условие будет выполняться для пионов с энергией  $E_{\pi} \approx 250$  МэВ, так как  $\sigma_{pN}(175 \text{ МэВ}) \approx \sigma_{\pi N}(250 \text{ МэВ}) \sim 10^2$  мкбн /4/; в этом случае эмпирическая зависимость /10/ имеет вид  $\sigma_A \approx 3A^{0,8} \sigma_d$ . Тогда  $\sigma_{He} \sim 30$  мкбн,  $\sigma_{Ne} \sim 100$  мкбн. Из-за рассеяния и поглощения продуктов в ядре сечение вылета коррелированной  $p\pi$ -пары будет составлять лишь часть оцененного сечения. Расчеты показывают, что вероятность вылета без взаимодействия обеих частиц из ядра Ne равна 20±30%. (Отметим также, что из-за фермиевского движения  $NN$ -пары в ядре значения  $E_p$ ,  $E_{\pi}$  и  $\cos \theta_{p\pi}$  будут отличны от дейтонных.) Введя эти поправки в сечения и взяв из работы /8/ параметры экспериментальной установки, получим, что при интенсивности пучка  $10^6$   $\bar{p}$ /с за 1 час ее работы можно зарегистрировать  $\sim 1$ -10  $p\pi$ -пар. Хотя величина ожидаемого эффекта и может быть несколько завышена, она делает вполне реальным и целесообразным проведение экспериментов по исследованию механизма двухнуклонного поглощения антипротонов ядрами.

Авторы благодарны В. Б. Колелиновичу, Ф. Никитицу и М. Г. Сапожникову за плодотворные обсуждения.

Институт ядерных исследований  
АН СССР.

Поступила в редакцию  
28 декабря 1982 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. A. S. Iljinov et al., Nucl. Phys., A382, 378 (1982).
2. K. H. Brueckner et al., Phys. Rev., 84, 258 (1951).
3. R. Bizzari et al., Nuovo Cim. Lett., 2, 431 (1969).
4. V. Flaminio et al., CERN-HERA 79-01, 79-03, 1979.
5. C. Baglin et al., Nucl. Phys., B37, 639 (1972).
6. В. В. Куровский и др., ЯФ, 36, 87 (1982).
7. N. J. DiGiacomo, J. Phys. G: Nucl. Phys., 7, L169 (1981).
8. Dubna-Frascati-Padova-Pavia-Torino Collaboration CERN-EP/82-87, Geneva, 1982.
9. A. J. Pawlicki et al., Phys. Rev. Lett., 31, 665 (1973).
10. D. Ashery et al., Phys. Rev., 23C, 2173 (1981).