

ДВУХПИОННЫЙ РАСПАД УЗКОГО ЯДЕРНОГО РЕЗОНАНСА

А.Б.Курепин, К.О.Оганесян

Экспериментальные данные по рождению пионов при столкновении протонов с ядрами при энергии около 350 МэВ объясняются образованием резонанса со спином и четностью 2^+ и шириной около 7 МэВ с испусканием двух пионов. Показано, что резонанс может быть обусловлен возбуждением $\Delta\Delta$ -состояний в ядрах.

В эксперименте по исследованию рождения пионов при столкновении протонов с ядрами меди в интервале энергий 240–500 МэВ при энергии протонов 350 МэВ была обнаружена аномалия в спектре пионов, испускаемых под углом 90° ¹. Спектр пионов, измеренный в интервале энергий пионов 30–110 МэВ, оказался обогащенным пионами низких энергий. Измерения были выполнены на фазотроне лаборатории ядерных проблем сотрудниками Института ядерных исследований АН СССР и Объединенного института ядерных исследований. В дальнейшем измерения были повторены в аналогичных условиях на синхротроне "Сатурн" в Центре ядерных исследований Сакле и наличие аномалии было подтверждено². Измерения показали, что аномальное увеличение выхода пионов низких энергий наблюдается до энергий пионов около 70 МэВ. Выполненные впоследствии измерения с хорошим энергетическим разрешением протонного пучка дали оценку ширины возникновения аномалии по энергии протонов около 5 МэВ³. Недавно были выполнены новые измерения в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ для нескольких углов испускания пионов и было обнаружено, что вид аномалии в зависимости от энергии протонов различен для углов испускания пионов 90° , 115° и 125° ⁴.

В настоящей статье наблюдаемое аномальное рождение пионов объясняется резонансным усилением выхода двух пионов при энергии протонов около 350 МэВ. Действительно, в случае распада возбужденного состояния ядра с энергией 350 МэВ с испусканием двух пионов, максимальная энергия пиона в данном случае достаточно тяжелого ядра не будет превышать $350 \text{ МэВ} - 2m_\pi \approx 70 \text{ МэВ}$, что и наблюдается в экспериментах¹⁻⁴.

Очевидно, что при рассматриваемых энергиях протонов выше порога рождения двух пионов на тяжелом ядре возможно нерезонансное рождение двух пионов в нуклон-нуклонных соударениях вследствие фермиевского движения нуклонов в ядре, корреляций нуклонов или в последовательных соударениях. Таким образом, амплитуда реакции $(p, 2\pi)$ выражается в виде суммы резонансной и нерезонансной частей:

$$F = A + B. \quad (1)$$

Можно считать, что в достаточно малом интервале энергий амплитуда B не зависит от энергии, а резонансная амплитуда выражается в общем виде через разность полной и резонансной энергий протона $E - E_r$, полную ширину Γ , ширины входного и выходного каналов Γ_p и $\Gamma_{2\pi}$:

$$A = \frac{\sqrt{\pi}}{k_0} \sum_{\lambda} C_{\lambda} Y_{\lambda 0}(\cos \theta) \sqrt{\Gamma_p \Gamma_{2\pi}} (E - E_r + i \frac{\Gamma}{2})^{-1}, \quad (2)$$

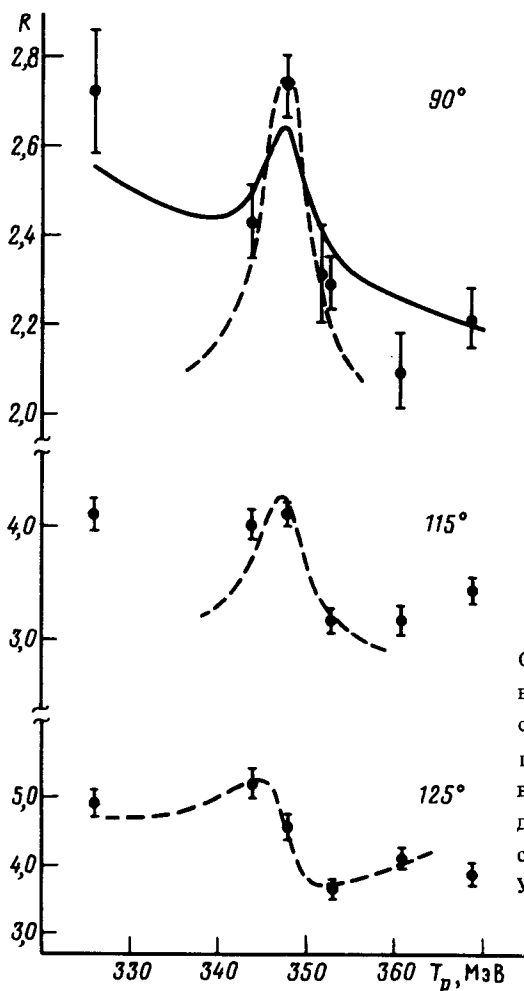
где θ – угол рождения, k_0 – волновое число налетающего протона, λ – орбитальный момент в выходном канале, C_{λ} – константы, зависящие от спиновых переменных и их проекций, в том числе от спина резонанса J . Как показали численные расчеты, для описания эксперимен-

тальных данных при разных углах достаточно учитывать орбитальный момент $\lambda = 2$. Тогда выражение для сечения реакции принимает вид

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left[(E - E_r)^2 + \frac{\Gamma^2}{4} \right]^{-1} \left[\frac{5C_2^2}{16k_0^2} \Gamma_p \Gamma_{2\pi} (3 \cos^2 \theta - 1)^2 + \frac{\sqrt{5}C_2 B}{2k_0} (E - E_r) \sqrt{\Gamma_p \Gamma_{2\pi}} (3 \cos^2 \theta - 1) \right] + B^2. \quad (3)$$

Нормировка в формуле (3) проводилась по величине максимального сечения в резонансе при угле 90° около 40 мкб. При этом по найденной из формы кривой полной ширины $\Gamma \approx \approx 7$ МэВ можно определить $\Gamma_p \Gamma_{2\pi} \sim 3$ МэВ².

Из имеющихся экспериментальных данных определить парциальные ширины невозможно. На рис. 1 приведены результаты расчета для $\Gamma_{2\pi} = \frac{1}{2} \Gamma = 3,5$ МэВ. Тогда $\Gamma_p = 0,84$ МэВ, $\Gamma_p / \Gamma = 0,12$. При этом для качественного описания экспериментальных данных надо вводить весьма малую величину нерезонансной амплитуды $B = 0,35$ мкб^{1/2}, что дает поправку к сечению в резонансе при 90° только около 0,3%. Однако при $\theta = 125^\circ$ вследствие близости нуля полинома Лежандра $P_2(\cos \theta)$ характер резонансной зависимости меняется.



Сравнение экспериментальных значений отношений выходов пионов с энергиями ниже и выше 60 МэВ с результатами расчета сечений по формуле (3), штриховые кривые — в произвольных единицах, в зависимости от кинетической энергии протонов для медной мишени. Сплошная кривая рассчитана с учетом вклада рождения одиночных пионов. Углы рождения указаны на рисунке

На рисунке экспериментальные данные приведены в виде зависимости от энергии протонов отношения R выходов пионов низких энергий 20–60 МэВ к выходу пионов с энергиями больше 60 МэВ. Последние, как было указано, не обнаруживают резонансной зависимости от энергии протонов около 350 МэВ.

Поскольку в экспериментах измерялись инклюзивные спектры пионов, необходимо также учитывать некогерентный фон рождения одиночных пионов, особенно существенный при меньших углах, когда наблюдается существенная, но плавная зависимость R от энергии протонов. На рисунке проведено сравнение с экспериментальными данными при угле 90° , причем некогерентный фон добавлен по данным измерений вдали от резонанса.

На определение спина и четности резонанса очевидно влияет спиновое состояние испускаемых двух пионов. Рассмотрение данных о пион-пионном взаимодействии при энергиях до 70 МэВ приводит к выводу о превышении почти на порядок в амплитуде s -волнового над p -волновым взаимодействием⁵. К этому же выводу приводит факт об отсутствии распада $\Delta(1232)$ изобары на два пиона и нуклон. Учитывая, что при медной мишени в конечном состоянии образуется четно-четное ядро, наиболее вероятно со спином ноль, получаем спин и четность резонанса 2^+ .

Такая величина спина и двухпионный распад резонанса приводит к предположению о структуре резонанса, обусловленной возбуждением двух $\Delta(1232)$ -изобар в ядрах. На возможность увеличения роли $\Delta\Delta$ -состояний при поглощении пионов в ядрах указывалось в работе⁶. В данном случае Δ -изобары образуются под действием достаточно энергичных протонов в ядерном веществе. Помимо их распада с шириной Γ_π возможен процесс их взаимодействия с нуклонами ядра $\Delta N \rightarrow NN$ с шириной Γ_{NN} . При условии, что полная ширина $\Gamma \approx \Gamma_{NN} + \Gamma_\pi$ в основном определяется шириной поглощения, из дисперсионного соотношения для показателя преломления n пиона в ядре получим:

$$n^2 - 1 = -\delta(\omega - \omega_r + \delta + i \frac{\Gamma}{2})^{-1}, \quad (4)$$

где $\delta = \frac{16\pi}{3} \rho f^2 \frac{\omega_r}{\omega}$, $\rho = 0,48 m_\pi^{-3}$ — ядерная плотность, $f^2 = 0,08$ — константа пион-нуклонного взаимодействия, ω , ω_r — полная и резонансные энергии пиона.

Оценка сдвига резонанса дает $\delta \approx 140$ МэВ, что приводит к резонансной энергии возбуждения двух Δ -изобар $E_r = 2(1232 - 140)$ МэВ = 308 МэВ + $2m_p$, что весьма близко к резонансной энергии 350 МэВ + $2m_p$, наблюдаемой в эксперименте. Из-за p -волнового фактора проникаемости ширина распада уменьшается по сравнению с шириной распада свободного Δ -резонанса $\Gamma_\pi(\omega_r) \sim 120$ МэВ,

$$\Gamma_\pi(\omega) = \left(\frac{k}{k_r}\right)^3 \frac{\omega_r}{\omega} \Gamma_\pi(\omega_r), \quad (5)$$

где k , k_r — волновые числа пиона, соответствующие энергиям ω , ω_r . При энергии испускаемого пиона 20 МэВ оценка ширины распада составляет около 7 МэВ, что может объяснить малую ширину наблюдаемого резонанса.

Представляет интерес проведение корреляционных измерений и определение изотопического спина резонанса по выходу пар пионов разного знака заряда.

Литература

1. Krasnov V.A. et al. Phys. Lett., 1982, 108B, 11.
2. Julien J. et al. Phys. Lett. B, 1984, 142, 340.
3. Sanouillet G. et al. Note CEA-N-2483, 1986.
4. Акимов Ю.К. и др. Крат. сообщения ОИЯИ-2-89, Дубна, 1989.
5. Мухин К.Н., Патаракин О.О. УФН, 1981, 133, 377.
6. Brown G.E. et al. Phys. Lett. B, 1982, 118, 39.

Институт ядерных исследований
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
3 апреля 1989 г

Объединенный институт ядерных исследований