

ВОЗБУЖДЕНИЕ Δ -ИЗОБАР В ЯДРАХ В РЕАКЦИИ ОДНОКРАТНОЙ ПЕРЕЗАРЯДКИ ПИОНОВ ПРИ ЭНЕРГИИ 1 ГэВ

*М.Б.Голубева, В.И.Ковинский, В.А.Краснов,
А.Б.Курепин, О.О.Патаракин, М.А.Прохватиллов,
А.И.Решетин, Н.С.Топильская, А.В.Шульгинов*

В спектрах π^0 -мезонов из реакции (π^-, π^0) под углом 10° на ядрах углерода и алюминия впервые обнаружен максимум, соответствующий энергии возбуждения ядер около 300 МэВ, интерпретируемый как проявление Δ_{33} -изобары в ядре. Наблюдается сдвиг максимума в сторону меньших возбуждений по сравнению с реакцией (π^+, π^0) на свободном протоне.

Недавно в экспериментах по исследованию реакций перезарядки на атомных ядрах при средних и высоких энергиях было обнаружено возбуждение ядер с энергией около 300 МэВ, что соответствует энергии интенсивного барионного резонанса $\Delta(1232)$ со значениями спина $S = 3/2$ и изоспина $T = 3/2$. Интерес к этим работам вызван тем, что параметры резонанса оказываются отличными от случая свободной изобары. Поэтому возможна постановка вопроса о изменении свойств Δ -резонанса в ядерной материи или о наблюдении некоторого необычного возбуждения ядер. Первые работы по перезарядке с возбуждением Δ -изобары в ядрах были выполнены с нуклонами: (p, n) реакция ¹, с легкими ядрами (³He, T) ²⁻⁴, с электронами ⁵ и релятивистскими тяжелыми ионами ⁶.

Исследование возбуждения Δ -изобарных резонансов в ядрах в реакции перезарядки пионов (π^+, π^0) представляет дополнительный интерес, в связи с отличием механизма реакции, в основном обусловленного обменом ρ -мезона, возможностью сравнения изменения заряда на пучках отрицательных и положительных пионов, отсутствия Δ -возбуждений в налетающей частице. Однако в первой работе, проведенной при энергии пучка пионов 475 МэВ ⁷ близкой к пороговой, пик соответствующий Δ -изобарному резонансу не наблюдался.

Некоторые заключения о характере особенностей изучаемой реакции можно сделать исходя из вида элементарной амплитуды πN -взаимодействия:

$$f_{\pi N} = (f_{00} + f_{01} \mathbf{t} \vec{\tau}) + i \sin \theta \vec{\sigma} \mathbf{n} (f_{10} + f_{11} \mathbf{t} \vec{\tau}), \quad (1)$$

где f_{ST} — спин-изоспиновые амплитуды, θ — угол рассеяния пиона в системе центра масс $\vec{\tau}$, \mathbf{t} , $\vec{\sigma}$ — операторы изоспина пиона и изоспина и спина нуклона, \mathbf{n} — единичный вектор перпендикулярный плоскости реакции. Отсюда следует, что сечение с возбуждением Δ -изобары обращается в ноль при $\theta = 0^\circ$, т. к. оно определяется амплитудой f_{11} , в отличие от перезарядки с участием нуклонов, где основной вклад вносят спин-спиновые силы и максимум сечения расположен при угле ноль градусов. При низких энергиях определяющей является f_{00} амплитуда. Однако при увеличении энергии относительный вклад f_{11} амплитуды растет, и можно ожидать увеличения максимума, соответствующего Δ -возбуждению по отношению к фоновым многократным процессам, образующим гладкую подложку резонанса.

Роль поверхности ядра можно оценить в эйкональном приближении, которое справедливо при достаточно больших энергиях пиона ⁸. С учетом упомянутого фактора $\sin \theta$ в амплитуде взаимодействия (1) сечение имеет характерную угловую зависимость с максимумом при некотором угле реакции, величина которого уменьшается с увеличением начальной энергии. В нашем случае при импульсе налетающего пиона 1.1 ГэВ/с максимум расположен при $\theta = 10^\circ$.

Измерения выполнены на пионном пучке магнитного канала установки "Каспий" ИЯИ АН СССР, расположенной на выведенном пучке синхрофазотрона Лаборатории высоких энергий

ОИЯИ. Для калибровочных и рабочих измерений использовался пучок положительных и отрицательных пионов с импульсами от 0,6 до 1,2 ГэВ/с и интенсивностью до $5 \cdot 10^5$ пионов за цикл работы ускорителя. Мишени из полиэтилена, углерода и алюминия имели толщины от 2 до 6 г/см². Спектры π^0 -мезонов измерялись при регистрации их распада на два гамма-кванта двумя блоками черенковских детекторов из свинцового стекла в горизонтальной плоскости по 6 счетчиков в блоке размером 10 × 10 см каждый и толщиной 14 радиационных длин. Угол реакции изменялся поворотом плоскости детекторов при фиксированном центре в мишени при угловом захвате около $\pm 2^\circ$. Геометрическая эффективность установки составляла около 0,8 мстер. и определялась как расчетным путем, так и калибровкой установки по известным сечениям реакции $\pi^- p \rightarrow \pi^0 n$ при различных импульсах π^- -мезонов.

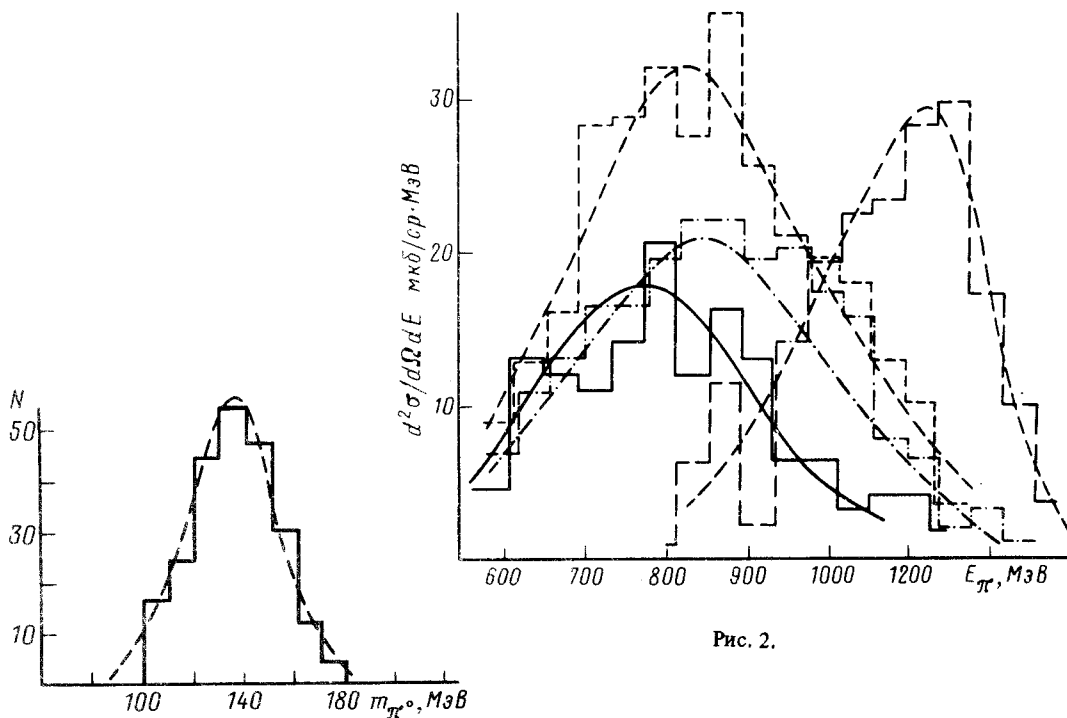


Рис. 2.

Рис. 1. Спектр инвариантных масс π^0 -мезонов. Среднее значение массы 138 ± 16 МэВ. Начальный импульс π^+ -мезонов 1,2 ГэВ/с

Рис. 2. Спектры полных энергий π^0 -мезонов из реакции (π^-, π^0) на ядрах водорода — пунктирная кривая, углерода штрих-пунктирная кривая, алюминия штриховые линии, и из реакции (π^+, π^0) на ядрах водорода — сплошная кривая ($\times 2$). Импульс π^\pm -мезонов 1,1 ГэВ/с. Угол испускания π^0 -мезонов 10°

На рис. 1 приведен спектр инвариантных масс двух распадных гамма-квантов, определенный по их энергиям, выделяемым в черенковских счетчиках и углу разлета по центрам поверхностей счетчиков. Видно, что нейтральные пионы надежно выделяются.

Спектры π^0 -мезонов, полученные при перезарядке π^+ - и π^- -мезонов на ядрах водорода и π^- -мезонов на ядрах углерода и алюминия, при импульсе налетающих пионов 1,1 ГэВ/с и угле реакции 10° в лабораторной системе, приведены на рис. 2. Видно, что максимум спектра для реакции $\pi^- p \rightarrow \pi^0 n$ при полной энергии π^0 -мезонов 1130 ± 10 МэВ достаточно хорошо согласуется с ожидаемым значением 1102 ± 10 МэВ по импульсу первичного пучка. Положения максимумов спектров определялись при аппроксимации гауссовыми распределениями. Максимум в спектре π^0 -мезонов при взаимодействии положительных пионов с ядрами водорода при энергии 785 ± 20 МэВ обусловлен каналом реакции $\pi^+ p \rightarrow \pi^0 \Delta^{++}$. Не наблюдается на уровне фона процесс $\pi^- p \rightarrow \pi^0 \Delta^0$. Однако оценки на основе изотопической инвариантности показывают, что сечение этого процесса составляет от 3 до 40% от наблюдаемой ре-

акции с возбуждением Δ^{++} изобары в зависимости от относительного вклада каналов с изоспином $3/2$ и $1/2$.

В спектрах (π^-, π^0) -реакции на ядрах наблюдаются максимумы при энергиях для углеродной мишени 845 ± 10 МэВ и для алюминия 840 ± 10 МэВ. Эти максимумы сдвинуты по отношению к квазиупругому возбуждению Δ -изобары в реакции на водороде на энергию около 50 МэВ в сторону меньших энергий возбуждения. Величина и направление сдвига резонанса оказывается близкой к результатам исследования реакции $({}^3\text{He}, T)$ на ядрах и водороде 2^{-4} . Хотя, как указывалось, механизмы реакции $({}^3\text{He}, T)$ и (π^\pm, π^0) на ядрах различны, все данные допускают интерпретацию возбуждения связанных Δ -дырочных состояний в ядрах с энергией связи несколько десятков МэВ. Из других объяснений сдвига резонанса можно указать на возможность влияния кластерных эффектов в ядрах, приводящих к кинематическому сдвигу квазиупругого пика ⁹.

Если предположить наличие в ядрах весьма узких и смещенных коллективных Δ -резонансов, вероятно наблюдаемых в рождении пионов ¹⁰, можно допустить, что наблюдаемые максимумы в спектре π^0 -мезонов на ядрах состоят из двух пиков, квазисвободного, широкого, определяемого вкладом многократных процессов взаимодействия пионов с нуклонами ядра, и сдвинутого к большим энергиям π^0 -мезонов более узкого Δ -состояния, что дает картину, наблюдаемую в данном эксперименте.

На рис. 2 обращает внимание отсутствие возбуждения низколежащих состояний в ядрах в реакции (π^-, π^0) . Известно, что в реакции (π^+, π^0) было обнаружено возбуждение изобараналоговых состояний в ядрах при энергиях пионов около 200 МэВ ¹¹. Подобные состояния не могут возбуждаться в (π^-, π^0) -реакции. В работе ³ было также замечено, что сечение возбуждения низших состояний в $({}^3\text{He}, T)$ реакции уменьшается с ростом энергии.

Литература

1. Bonner B.E. et al. Phys. Rev. C, 1978, 18, 1418.
2. Ellegaard C. et al. Phys. Rev. Lett., 1983, 50, 1745.
3. Аблеев В.Г. и др. Письма в ЖЭТФ, 1984, 40, 35.
4. Contardo D. et al. Phys. Lett. B, 1986, 168, 331.
5. O'Connell J.S. et al. Phys. Rev. C, 1987, 35, 1063.
6. Bachelier D. et al. Phys. Lett. B, 1986, 172, 23.
7. Clausen B.L. et al. Phys. Rev. C, 1987, 35, 1028.
8. Shepard J.R., Rost E. Phys. Rev. C, 1982, 25, 2660.
9. Куренин А.Б. Труды международного совещания по теории малочастичных и кварк-адронных систем, Дубна, ОИЯИ Д4-87-692, 1987, с. 132.
10. Куренин А.Б., Оганесян К.О. Письма в ЖЭТФ, 1989, 49, 603.
11. Baer H.W. et al. Pion-nucleus physics, AIP Conference Proceedings, 1988, 163, 67.

Институт ядерных исследований
Академии наук СССР

Институт атомной энергии
им. И.В.Курчатова

Поступила в редакцию
12 октября 1989 г.

После переработки
1 февраля 1990 г.