

539.144

О ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ВЫСОКОСПИНОВЫХ СОСТОЯНИЙ ПРИ ЗАХВАТЕ π^- -МЕЗОНОВ ЯДРАМИ

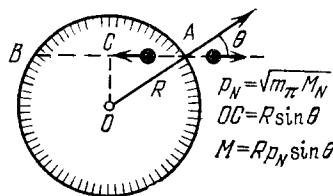
С. С. Герштейн

В результате экспериментальных исследований, проведенных за последние два года, обнаружено новое интересное явление — возбуждение высокоспиновых состояний ядер, образующихся при захвате отрицательных пионов (см. обзор С. М. Поликанова и Д. Чултэма¹). Детальный численный расчет этого явления с разыгрыванием ядерного каскада по методу Монте-Карло был произведен в работе². Цель настоящей заметки — указать на то, что основная особенность обнаруженного явления, — большая вероятность образования высокоспиновых фрагментов, — может быть качественно понята на основе очень простых и наглядных соображений.

Действительно, согласно теоретическим представлениям и прямым экспериментальным указаниям захват отрицательных пионов ядрами с мезоатомных орбит происходит путем поглощения их нуклонами кластерами, разложенными вблизи поверхности ядра. Рассмотрим вначале поглощение пиона покоящимся двухнуклонным («квазидейtronным») кластером и примем, что разлет нуклонов после поглощения пиона происходит изотропно. Тогда (см. рисунок) вероятность вылета одного из нуклонов под углом θ к нормали к поверхности ядра пропорциональна $dW \sim \sin \theta d\theta$, а момент, переданный ядру в случае, когда второй из нуклонов «застревает» в ядре, равен $M = p_0 R \sin \theta$ (где R — радиус ядра, $p_0 \approx \sqrt{m_\pi M_N}$ — импульс, с которым разлетаются нуклоны «квазидейtronного» кластера после захвата пиона, m_π , M_N — массы пиона и нуклона). Определяя $\sin \theta = M/M_0$ ($M_0 = p_0 R$), и принимая для оценок $R \approx (1/m_\pi) A^{1/3}$, получаем для вероятности образования ядерных фрагментов с моментами в интервале M , $M + dM$ выражение

$$dW_M = \frac{M dM}{M_0^2 \sqrt{1 - (M^2/M_0^2)}}, \quad M < M_0 \approx A^{1/3} \sqrt{\frac{M_N}{m_\pi}}. \quad (1)$$

Для тяжелых ядер ($A \approx 200$) максимальное значение момента возбужденного ядра составляет $M_0 \approx 15$, что с точностью до 2—3 единиц совпадает с максимальным моментом, наблюдаемым экспериментально. При более аккуратном рассмотрении, разумеется, необходимо учесть динамику поглощения нуклона в ядре, размытие границы ядра, движение кластеров и возможность захвата пиона более сложными (например, α -частичными) кластерами. Надо учитывать также спин исходного ядра — мишени



и момент ($l = 3$), вносимый в ядро пионом (поскольку захват пиона, согласно экспериментальным данным, происходит в основном из $4f$ состояния). Такое рассмотрение с учетом ряда перечисленных факторов было проведено численно на основе модели ядерного каскада ². Важно, однако, что возрастание вероятности образования ядерных фрагментов с большими моментами, даваемое формулой (1), не зависит от динамики ядерных процессов и вытекает из чисто «геометрического» фактора ($\sin \theta d\theta$), увеличивающего статистический вес для больших моментов при изотропном разлете элементов кластера. В этом смысле возбуждение высокоспиновых состояний ядер при захвате пионов аналогично возбуждению высокоспиновых состояний, наблюдавшемуся Г. Н. Флёровым и др. ³ в реакциях с тяжелыми ионами (где вероятность $dW_M \sim M dM$ ⁴). Поскольку при численном расчете ядерных каскадов ², следующих за процессом захвата пиона кластером, предполагался изотропный разлет нуклонов двухчастичного кластера, возрастание статистического веса для больших моментов (1) было автоматически учтено и дало хорошее согласие с наблюдаемыми данными. Вместе с тем, ясно, что большой статистический вес для образования высокоспиновых состояний может проявиться и при других механизмах взаимодействия разлетающихся нуклонов кластера в ядерной материи. В частности, представляют интерес случаи, когда энергия нуклона, «застревающего» в ядре, передается когерентно некоторой ассоциации нуклонов ядра. В таких случаях возможно образование ядерных «квазимолекул» с большими моментами (как это наблюдается в реакциях с тяжелыми ионами) ^{**}). Для наблюдения подобных явлений необходимо изучать процессы, которые следуют «мгновенно» за актом захвата пиона. Изучение «мгновенных» процессов представляет интерес и для восстановления «истинного» распределения по моментам ядерных фрагментов, поскольку методика выделения долгоживущих изомеров (исключительно остроумная по своей простоте и позволившая обнаружить само явление возбуждения высокоспиновых состояний) может, вообще говоря, благодаря предшествующим быстрым ядерным переходам давать несколько искаженное распределение. Выражение (1) становится неприменимым при $M \approx M_0$, поскольку в предлагаемой модели значения $M = M_0$ отвечают разлету нуклонов кластера параллельно поверхности ядра и, следовательно, несовместимы с предположением о том, что нуклон «застревает» в ядре. Качественную оценку величины момента M_1 , до которого будет справедливо выражение (1), легко получить, исходя из условия, что для «застривания» нуклона его путь в ядре (отрезок AB на рисунке) должен составлять несколько ядерных длин. Взяв для определенности путь в ядре большим 4–5 длин свободного пробега, получаем для тяжелых ядер $M_1 \approx \approx (0,7–0,6) M_0$. Таким образом, вплоть до значений моментов 9–10 вероятность возбуждения высокоспиновых состояний должна расти с ростом моментов.

Качественным подтверждением рассматриваемой простой модели являются данные по множественности испарительных нейтронов, сопровождающих процесс захвата пиона тяжелыми ядрами. Согласно экспериментальным данным наиболее вероятным оказывается испарение 6–8 нейтронов, что соответствует энергии возбуждения остаточного ядра около 70 $M\text{эв}$ (т. е. энергии, вносимой «застревающим» нуклоном при

^{*)} Указанная аналогия была замечена экспериментально. Как отмечают С. М. Поликанов и др., изомерное отношение для ядерных фрагментов при захвате пионов такое же, как в реакциях с тяжелыми ионами ³.

^{**)} Интересно было бы также проверить, не могут ли благодаря «когерентным» эффектам образовываться при захвате пионов квазистабильные трансуранные изомеры формы.

захвате пиона покоящимся двухчастичным кластером^{*)}). Следует также заметить, что испарительные нейтроны с энергией 2—5 $M\text{эв}$ могут с довольно значительной вероятностью уносить из тяжелых ядер моменты, равные (1—2) \hbar . Это обстоятельство необходимо учитывать при более детальном рассмотрении вопроса.

Институт физики высоких энергий,
Серпухов (Московская обл.)

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. С. М. Поликанов, Д. Чултэм, УФН **124**, 441 (1978) (см. данный номер журнала).
2. A. S. Ig'nov, V. I. Nazaruk, S. E. Chigrinov, Nucl. Phys. **A268**, 513 (1976).
3. Г. Н. Флоров и др., ЯФ **6**, 17 (1967).
4. M. P. Loscher, F. Muhleg, Helv. Phys. Acta **49**, 123 (1976).

^{*)} Относительно теоретической интерпретации данных о выходе нейтронов при захвате пионов см. ², ⁴.