

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ СИЛОВЫХ ФУНКЦИЙ β -РАСПАДА

Г.Д.Алхазов, Л.Х.Батист, А.А.Быков, В.Д.Витман, С.Ю.Орлов

На основании анализа спектра запаздывающих протонов ^{147}Du и литературных данных по схемам распада показано, что расстояния между уровнями, интенсивно заселяемыми гамов-теллеровскими β -переходами, не являются случайными величинами, а закономерно зависят от массового числа распадающихся ядер.

При распаде ядер, удаленных от области стабильности, β -переходы могут заселять очень большое число возбужденных состояний дочернего ядра. Зависимость плотности приведенных вероятностей β -переходов от энергии определяет силовую функцию β -распада S_β . Исследования спектров полного поглощения каскадных γ -переходов показали ¹, что S_β имеют отчетливо выраженный резонансный характер. При больших энергиях возбуждения эти резонансы состоят из большого числа близко расположенных уровней, не разрешаемых спектрометром полного поглощения. С целью исследования тонкой структуры S_β мы провели ана-

лиз энергетических интервалов между уровнями, интенсивно заселяемыми гамма-теллеровскими β -переходами при распаде излучателя запаздывающих протонов ^{147}Dy . Спектр протонов был измерен с разрешением ≈ 30 кэВ. Наблюдаемые в этом спектре протонные переходы соответствуют энергиям возбуждения дочернего ядра ^{147}Tb от 3,8 до 6,5 МэВ. Изменения спектров полного поглощения каскадных γ -переходов показали ³, что резонанс в S_β имеет энергию ≈ 4 МэВ, поэтому структура протонного спектра должна отражать структуру S_β в резонансной области. Существенно, что при распаде ^{147}Dy интенсивность протонных переходов на возбужденные состояния конечного ядра ^{146}Gd пренебрежимо мала, поэтому энергии протонов однозначно связаны с энергиями β -переходов. В спектре запаздывающих

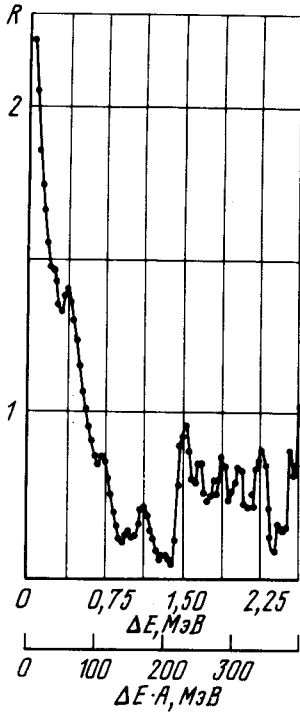


Рис. 1

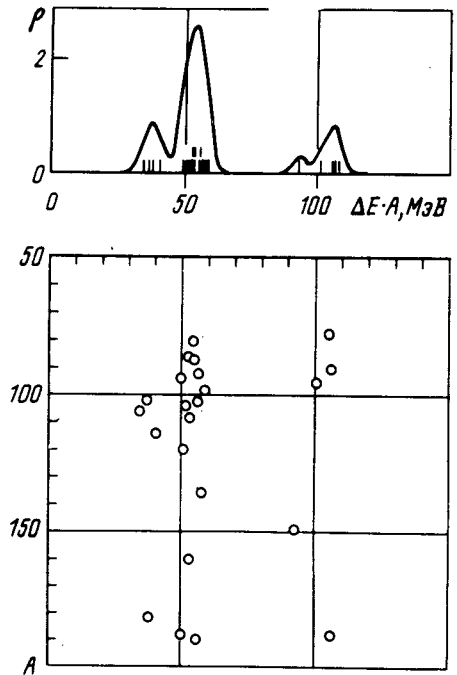


Рис. 2

Рис. 1. Автокорреляционная функция спектра запаздывающих протонов для распада ^{147}Gd

Рис. 2. Распределение величин $\Delta E \times A$ для $0^+ \rightarrow 1^+$ гамма-теллеровских β -переходов. Плотность вероятности ρ получена сверткой дискретного распределения с функцией Гаусса

протонов ^{147}Dy отчетливо проявляется тонкая структура. С учетом проникаемости барьера наиболее интенсивными оказываются протонные переходы с энергиями 2,0; 2,18; 2,54; 3,26 МэВ. Расстояния между уровнями соответственно равны 0,18; 0,36 и 0,72 МэВ. Интервалы между многими другими линиями в спектре также оказываются кратными величине 0,18 МэВ. На рис. 1 изображена автокорреляционная функция спектра запаздывающих протонов, полученная по формуле:

$$R(\Delta E) = \frac{\sum_{i=1}^{N-k} S(i)S(i+k)}{\sum_{i=1}^{N-k} S(i) \sum_{i=1}^{N-k} S(i+k)} \quad (N-k), \quad \Delta E = k\delta; \quad (1)$$

где δ — ширина канала в спектре. Как видно из рисунка, функция R имеет максимумы, расположенные при энергиях, кратных величине 0,375 МэВ, что указывает на наличие соот-

ветствующих корреляций в положениях интенсивных пиков в спектре. Существенно, что вследствие правил отбора для разрешенных β -переходов Гамова – Теллера при β^+ -распаде ^{147}Sm преимущественно заселяются уровни с изоспином $T = 17/2$, имеющие спин и четность $J^\pi = 1/2^+, 3/2^+$, однако центробежный барьер на порядок подавляет протонные переходы с уровней со спином $3/2$. Поэтому наблюдаемые корреляции в спектре протонов в первую очередь должны отражать корреляции энергий уровней с квантовыми характеристиками $T = 17/2, J^\pi = 1/2^+$ и не могут быть объяснены расщеплением спиновых или изоспиновых мультиплетов.

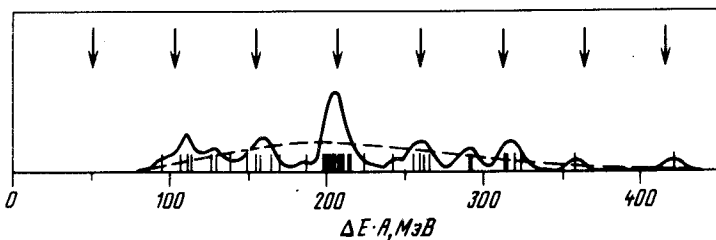


Рис. 3. Распределение величин $\Delta E \times A$ для $1^+ \rightarrow 0^+$ гамов-теллеровских β -переходов. Стрелками отмечены значения величины $\Delta E \times A$, кратные 52 МэВ

Обнаружив столь удивительные корреляции в спектре запаздывающих протонов, мы решили исследовать расстояния между уровнями, интенсивно заселяемыми β -переходами, используя обширные литературные данные ⁴ по схемам распада. Для того, чтобы исключить случаи изоспинового расщепления уровней, мы рассматривали тяжелые ядра с $A > 65$.

При распаде четно-четных ядер разрешенные переходы Гамова – Теллера возбуждают уровни с одним определенным значением $J^\pi = 1^+$. Выбрав в схемах распада уровни с $\log ft \leq 5,5$, что соответствует разрешенным переходам Гамова – Теллера, мы определили энергетические интервалы ΔE между ними. Вначале были рассмотрены уровни с минимальным для данной схемы значением $\log ft$ и вышележащие состояния. Оказалось, что величины ΔE , характеризующие тонкую структуру S_β , уменьшаются с увеличением массового числа A . Построив график зависимости $\log \Delta E$ от $\log A$, мы обнаружили, что точки группируются около прямых с наклоном A^{-1} так, что величины произведений $\Delta E \times A$, как это видно из рис. 2, практически не зависят от A . Вероятность случайного группирования точек (рис. 2) вблизи значений $\Delta E \times A = 53$ и 105 МэВ по нашим оценкам не превышает 10^{-4} . Более подробный анализ схем распада четно-четных ядер (было рассмотрено 70 схем распада, 220 гамов-теллеровских β -переходов без дополнительных критериев отбора) показал, что наиболее часто встречаются интервалы $\Delta E = 2\hbar\omega_0/nA$, где $\hbar\omega_0 = 53$ МэВ, $n = 1, 2, 3, 4, A$ – массовое число. Отметим, что и на рис. 2 имеется группа точек в области значений $\Delta E \times A = 36$ МэВ $= \frac{2}{3}\hbar\omega_0$, а на рис. 1 – максимумы, соответствующие значениям величин $\Delta E \times A$, кратным 27 МэВ $= \frac{1}{2}\hbar\omega_0$.

Мы рассмотрели также распад нечетно-нечетных ядер с $J^\pi = 1^+$, т.е. гамов-теллеровские $1^+ \rightarrow 0^+$ β -переходы. В β -распаде таких ядер интенсивно заселяются как основное состояние дочернего ядра, так и возбужденные 0^+ – состояния. Для ядер с $A > 65$ в ⁴ опубликовано 26 схем распада, содержащих $1^+ \rightarrow 0^+$ β -переходы с $\log ft < 6,3$ не только на основное, но и на возбужденные состояния. Распределение величины $\Delta E \times A$ показано на рис. 3. Как видно из рисунка, точки здесь также группируются около значений, кратных величине 52 МэВ, отмеченных стрелками. Согласно оценке вероятность случайной группировки величин $\Delta E \times A$ не превышает 10^{-3} .

На наш взгляд приведенные данные убедительно демонстрируют, что расстояния между уровнями, интенсивно заселяемыми гамов-теллеровскими β -переходами, не являются случайными величинами, а закономерно зависят от массового числа A , а именно $\Delta E = \hbar\omega/A$, причем для наиболее интенсивных переходов величины $\hbar\omega$ кратны величине $\hbar\omega_0 = 53 \pm \pm 5$ МэВ. Для более слабых переходов часто встречаются интервалы $\Delta E = 2\hbar\omega_0/nA$. Любопытно, что подобный набор дробных резонансных частот характерен для комбинационного воз-

буждения параметрических резонансов ⁵, поэтому не исключено, что обнаруженная закономерность в тонкой структуре S_{β} может быть связана с параметрическим возбуждением некоторой гипотетической элементарной моды, частота которой $\hbar\omega_0$ равна 53/4 МэВ. Подчеркнем, что нам не удалось обнаружить зависимости величины $\hbar\omega_0$ от спина, изоспина, деформации ядер и влияния магических чисел. Обнаруженное явление, как нам представляется не укладывается в рамки существующей теории ядра.

Литература

1. Алхазов Г.Д., Быков А.А. и др. Письма в ЖЭТФ, 1980, 32, 68.
2. Алхазов Г.Д., Быков А.А. и др. ЯФ, 1985, 42, 1313.
3. Алхазов Г.Д., Батист Л.Х. и др. Препринт ЛИЯФ-1222, 1986.
4. Table of Isotopes, 7-th ed. edited by G. M. Lederer and V.S. Shirley, N.-Y. 1978, Nuclear Data Sheets, Academic Press, N - Y.
5. Шмидт Г. Параметрические колебания. М.: Мир, 1978.

Институт ядерной физики им. Б.П.Константинова
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
17 февраля 1987 г.