

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



СЗУ1.18

П-58

3870/2-77

26/IX-77

P4 - 10805

Ю.П.Попов

О ВОЗМОЖНОМ ВЛИЯНИИ
ОДНОЧАСТИЧНЫХ ВОЗБУЖДЕНИЙ
НА ГАММА-РАСПАД КОМПАУНД-СОСТОЯНИЙ

1977

P4 - 10805

Ю.П.Попов

**О ВОЗМОЖНОМ ВЛИЯНИИ
ОДНОЧАСТИЧНЫХ ВОЗБУЖДЕНИЙ
НА ГАММА-РАСПАД КОМПАУНД-СОСТОЯНИЙ**

Попов Ю.П.

P4 - 10805

О возможном влиянии одночастичных возбуждений на
гамма-распад компаунд-состояний

Анализируются экспериментальные данные о гамма-переходах между компаунд-состояниями ядер, полученные при изучении реакций (n, γ) , $(n, \gamma\alpha)$ и $(n, \gamma f)$. Для объяснения обнаруженных при этом нестатических эффектов (преобладание гамма-переходов мультипольности $M1$; повышенные флуктуации заселенности нижних состояний от резонанса к резонансу; положительная корреляция величин флуктуаций с нейтронными ширинами) делается попытка привлечь механизм фрагментации одночастичных компонент возбуждения среди компаунд состояний ядер. На этой основе оказалось возможным качественно объяснить указанные эффекты.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

Popov Yu. P.

P4 - 10805

On Possible Effect of Single-Particle
Excitations on Gamma-Decay of Compound States

Experimental data on gamma-transitions between compound states of nuclei obtained by studying the reactions (n, γ) , $(n, \gamma\alpha)$ and $(n, \gamma f)$ is analysed. To interpret the revealed there a number of nonstatistical effects (predominance of $M-1$ multipolarity γ -transitions; increased fluctuations of population of low states from resonance to resonance; positive correlations of fluctuation values with neutron width) an attempt was made to apply the fragmentation mechanism of single-particle excitation components among nuclear compound states. This allowed to interpret qualitatively the indicated effects.

The investigation has been performed at the Neutron Physics Laboratory, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1977

I. В дополнение к широко распространенным результатам исследований гамма-переходов между простыми слабо возбужденными состояниями (переходы типа $S \rightarrow S$, ядерная спектроскопия), а также между сложными компаунд-состояниями и простыми конечными (переходы $C \rightarrow S$, в основном нейтронная спектроскопия) в последнее время стали появляться экспериментальные данные о гамма-переходах между компаунд-состояниями ядер (переходы типа $C \rightarrow C$).

Для их изучения, в принципе, можно использовать радиационный захват нейтронов или протонов. Однако выделить индивидуальные γ -переходы такого типа при современном уровне экспериментальной техники невозможно. Поэтому имеющиеся данные получены, как правило, косвенным путем и относятся к интегральным, усредненным характеристикам γ -переходов. Эти данные пока разрознены и немногочисленны (см. ^{1/}), тем не менее в ряде случаев их интерпретация с позиций статистической теории оказывается затруднительной.

Здесь делается попытка качественного объяснения некоторых особенностей мягких гамма-переходов вблизи энергии связи нейтрона для определенных областей тяжелых ядер.

II. Ряд результатов экспериментальных исследований гамма-переходов типа $C \rightarrow C$, не укладывающихся в рамки статистической теории, можно систематизировать следующим образом:

1. На основании изучения реакций $^{143}\text{Nd}(n,\gamma)^{140}\text{Ce}$ ^{2/}, $^{147}\text{Sm}(n,\gamma)^{148}\text{Sm}$ ^{3/}, $^{235}\text{U}(n,\gamma f)^{235}\text{U}$ ^{4/} авторы ра-

бот приходят к выводу о преобладании мультипольности $M1$ для указанных гамма-переходов.

2. Исследования флуктуаций от резонанса к резонансу заселенностей низколежащих состояний за счёт каскадов γ -квантов при радиационном захвате нейтронов, проведенные для конечных ядер $^{148}\text{Sm}^{3/}$, ^{176}Lu и $^{177}\text{Lu}^{5/}$, показали, что эти флуктуации для большинства низколежащих состояний значительно выше, чем ожидалось при учёте флуктуаций Портера-Томаса для вероятностей отдельных γ -переходов в каскадах.

3. Обнаружена положительная корреляция величин аномальных флуктуаций заселенностей низколежащих состояний с приведенными нейтронными ширинами резонансов для изотопов лутеция^{5/}.

III. Поскольку матричный элемент для гамма-перехода между состояниями i и f пропорционален перекрытию соответствующих компонент волновых функций^{6/}

$$M \sim \langle \Psi_f | H | \Psi_i \rangle,$$

где Ψ_i , Ψ_f - волновые функции начального и конечного состояний, а H - возмущающее взаимодействие, то для объяснения отмеченных выше эффектов можно предположить следующее. Для ряда ядер вблизи энергии связи нейтрона имеются определенные состояния с усиленными компонентами волновых функций, причем усиленные компоненты имеют одинаковую четность ($M1$ -переходы). Кроме того, эти компоненты дают существенный вклад в вероятность захвата нейтрона - нейтронную ширину.

Качественно эти эффекты можно связать с фрагментацией одночастичных состояний по высоковозбужденным компаунд-состояниям ядра. Вопрос о влиянии одночастичных состояний, расположенных вблизи энергии связи нейтрона B_n , на поведение нейтронных ширин (нейтронных силовых функций) рассматривался в ряде работ (см., например, ^{7/}). При этом отмечалась корреляция максимумов нейтронных силовых функций с близостью положения одночастичных уровней определенной четности к B_n .

В то же время усиление соответствующих компонент волновых функций компаунд-состояний должно сказаться и на вероятности γ -переходов. Особенно существенным должен быть эффект для мягких γ -переходов, если начальное и конечное состояния перехода лежат в интервале энергии, соответствующем максимуму фрагментации одночастичного состояния. Такой интервал может оказаться порядка нескольких МэВ. К сожалению, отсутствие сведений о закономерностях раздачи силы простых состояний по компаунд-состояниям ядер не позволяет в настоящее время получить количественные результаты. Тем не менее, наличие в определенных компаунд-состояниях усиленных компонент одной чётности на интервале фрагментации одночастичного состояния должно привести к усилению γ -переходов, идущих без изменения чётности, между такими состояниями, т.е. к усилению $M1$ (или $E2$)-переходов.

Поскольку "раздача силы" одночастичного состояния по индивидуальным компаунд-состояниям ядра происходит неравномерно (например, аналогские состояния), то это должно приводить к существенному усилению лишь части переходов между определенными состояниями, т.е. к выделенности определенных путей в каскадах γ -переходов (каналирование γ -переходов) при разрядке высоковозбужденных состояний (нейтронных резонансов). Это, в свою очередь, приведет к уменьшению эффективного числа путей заселения низколежащих состояний по сравнению с ожидаемым согласно статистической теории, т.е. к увеличению диапазона флуктуаций заселенностей нижних состояний ядра при переходе от одного нейтронного резонанса к другому.

IV. Рассмотренные выше особенности мягких гамма-переходов вблизи энергии связи нейтрона, вероятно, характерны не для всех ядер. Представленное на рис.1 схематическое положение одночастичных s -состояний в потенциале Саксона-Вудса относительно энергии связи нейтрона в ядрах с различным атомным весом дает возможность определить области ядер, в которых указанные эффекты могут оказаться существенными. В случае

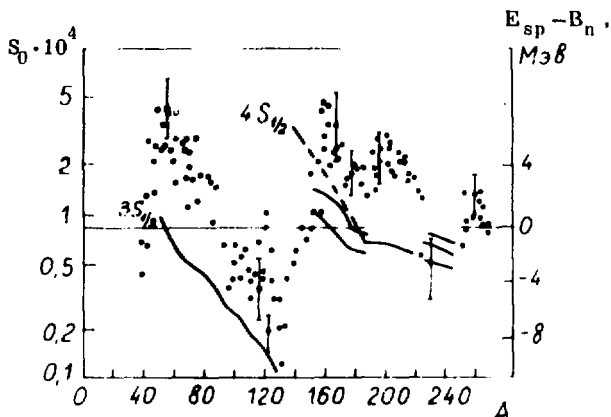


Рис.1. Корреляция величины силовой функции для s -нейтронов S_0 (экспериментальные точки, левая шкала) с положением одночастичных уровней E_{sp} (расчёт, линия) относительно энергии связи нейтрона в ядре (правая шкала, $E_{sp} - B_n$ в МэВ).

захвата s -нейтронов это области $A \sim 60$, $A \sim 150-180$ и $A \sim 220-240$. Аналогичные интервалы атомных весов можно указать и для случая захвата p -нейтронов. Они будут находиться там, где соответственно для $2P$ и $3P$ одночастичных уровней $E_{sp} \approx B_n$.

Таким образом, наличие усиления $M1$ -переходов в области энергии связи нейтрона, увеличение флуктуаций заселенностей нижних состояний, обнаружение положительной корреляции таких флуктуаций с нейтронными ширинами и некоторые другие эффекты, наблюдавшиеся для нескольких ядер, вероятно, не являются случайными, а, возможно, связаны с увеличением вклада одночастичной компоненты одной и той же чётности в начальное и конечное компаунд-состояния ядра.

Помимо рассмотренных выше следствий данной гипотезы можно указать и другие. Так, при переходе из области ядер, где имеется максимум нейтронной силовой

функции (т.е. $E_{sp} \sim V_n$) в область ее минимума возможно заметное уменьшение радиационной силовой функции мягких γ -переходов S_{γ}^{cc} . Далее, поскольку амплитуда нейтронной ширины зависит от вклада одночастичной компоненты линейно, а для парциальной радиационной ширины (переходы $C \cdot C$) зависимость квадратичная (вклад в начальное и конечное состояния), то корреляция между ними должна носить квадратичный характер.

Экспериментальная проверка этих следствий и, главное, получение количественных данных могут внести существенный вклад в развитие нашего понимания механизма γ -переходов между компаунд-состояниями ядер.

Автор выражает благодарность В.И.Фурману за полезные дискуссии.

Литература

1. Попов Ю.П. In: Neutron Capture Gamma-Ray Spectroscopy. RCN. Petten, Netherlands. 1975, p.379;
Попов Ю.П. ОИЯИ, РЗ-8140, Дубна, 1974.
2. Furman W. e.a. Phys.Lett., 1973, B44, p.465.
Винивартер П. и др. ОИЯИ, РЗ-6754, Дубна, 1972.
3. Алдея Л. и др. ОИЯИ, РЗ-7885, Дубна, 1974.
4. Длоугы З., Криштяк Й., Пантелеев Ц. Избранные вопросы структуры ядра, т. 1. ОИЯИ, Д-9682. Дубна, 1976, с. 113.
5. Алдея Л. и др. ОИЯИ, РЗ-10012, Дубна, 1976.
6. Блатт Дж., Вайскопф В. Теоретическая ядерная физика. ИЛ, М., 1954.
7. Соловьев В.Г. ЭЧАЯ, 1972, т. 3, вып. 4, с. 770.

Рукопись поступила в издательский отдел
1 июля 1977 года.