

**Ба135309**

**АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛОРУССКОЙ ССР**

**УЧЕНЫЙ СОВЕТ ПО ФИЗИКЕ ОТДЕЛЕНИЯ  
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК**

**На правах рукописи**

**КНАТЬКО ВЛАДИМИР АНДРЕЕВИЧ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЗАХВАТНОГО СОСТОЯНИЯ  
В РЕАКЦИИ РАДИАЦИОННОГО ЗАХВАТА ТЕПЛОВЫХ  
НЕЙТРОНОВ ЧЕТНО-ЧЕТНЫМИ ЯДРАМИ-МИШЕНЯМИ  
С  $A \sim 50-80$  И  $A \sim 140$**

**(01.04.16 - Физика атомного ядра и  
космических лучей)**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук**

**Бел. 2005**

**Минск - 1974 г.**

**А К А Д Е М И Я   Н А У К   Б Е Л О Р У С С К О Й   С С Р**

---

**УЧЕНЫЙ СОВЕТ ПО ФИЗИКЕ ОТДЕЛЕНИЯ  
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК**

**На правах рукописи**

**КНАТЬКО ВЛАДИМИР АНДРЕЕВИЧ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЗАКРАТНОГО СОСТОЯНИЯ  
В РЕАКЦИИ РАДИАЦИОННОГО ЗАХВАТА ТЕПЛОЙ  
НЕЙТРОНОВ ЧЕТНО-ЧЕТНЫМИ ЯДРАМИ-МИШЕНЬМИ  
С  $A \sim 90-80$  И  $A \sim 140$**

**(01.04.16 - Физика атомного ядра и  
космических лучей)**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук**

**Бел. 2005**

**Минск - 1974 г.**

Работа выполнена в ордена Трудового Красного Знамени Институте физики АН БССР.

Научный руководитель - кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Э.А.РУДАК.

Общественные оппоненты: член-корреспондент АН УзССР, доктор физико-математических наук, профессор Р.Б.БЕКЖАНОВ, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник В.И.ПОПОВ.

Оппонирующая организация - Объединенный Институт Ядерных Исследований.

Защита диссертации состоялась "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1974 г. в 14 часов на заседании Ученого Совета по физике Отделения физико-математических наук АН БССР в зале заседаний Института физики АН БССР (г.Минск, Ленинский пр.70).

О диссертации можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке им.Н.Коласа АН БССР.

Автореферат составлен "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1974 г.,

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ  
СОВЕТА

(канд.физ.-мат.наук  
Н.С.ПЕТРОВ)

Структура высоковозбужденных состояний атомных ядер с энергией, близкой к энергии связи нуклона, является весьма сложной и не может быть рассчитана в рамках существующих ядерных моделей. Поскольку не имеет смысла ставить вопрос о вычислении энергии и волновой функции каждого резонанса, целесообразным является феноменологический подход к исследованию их структуры. Информация о вкладах отдельных конфигураций в волновую функцию высоковозбужденного состояния может быть получена на основе анализа экспериментальных данных на реакции взаимодействия медленных нейтронов с ядрами. В этом случае для большинства ядер энергетически возможны лишь два процесса: упругое рассеяние и радиационный захват. Для исследования структуры высоковозбужденных состояний наиболее подходящей является реакция  $(n, \gamma)$ . Вклад в  $\gamma$ -распад высоковозбужденного состояния ядра-продукта из реакции  $(n, \gamma)$  с энергией  $E_n + E_\gamma$  ( $E_n$  - кинетическая энергия налетающего нейтрона), называемого захватным, дает не только исходная конфигурация "ядро-мишень в основном состоянии +  $\beta$ -нейтрон" (упругий канал), но и другие относительно простые конфигурации, представляющие каналы, закрытые для упругого рассеяния. Поэтому реакция радиационного захвата в принципе несет больше информации о структуре высоковозбужденных состояний.

С точки зрения исследования механизма реакции  $(n, \gamma)$  и структуры ядра наиболее привлекательным является радиационный захват в резонансах. Однако вследствие экспериментальных трудностей, связанных с необходимостью использования сложных механических спектров нейтронов, техникой по времени пролета, импульсных реакторов и т.д., исследования реакции  $(n, \gamma)$  на ре-

резонансных нейтронах развиты пока недостаточно, и число ядер, для которых к настоящему времени измерены  $\gamma$ -спектры нейтронных резонансов, невелико. Наиболее широко экспериментальные исследования проводятся на тепловых нейтронах. Для многих ядер различных областей массового числа  $A$  измерены  $\gamma$ -спектры распада захватного состояния и имеются надежные данные по энергиям и интенсивностям  $\gamma$ -переходов, необходимые для анализа.

В настоящей работе исследование структуры высоковозбужденных состояний проводится на примере захватного состояния, образующегося в реакции радиационного захвата тепловых нейтронов четно-четными ядрами-мишенями с  $A \sim 50-80$  и  $A \sim 140$  с целью выяснения роли конфигураций типа фонон+частица в механизме захвата. Диссертация состоит из введения, где дается обоснование задачи исследования, четырех глав и заключения, содержащего выводы.

Первая глава является обзорной. Проведенный в ней анализ работ, посвященных исследованию механизма реакции ( $n, \gamma$ ) на медленных нейтронах показывает, что наиболее широко для интерпретации экспериментальных данных используются две альтернативные модели: модель составного ядра, предполагающая статистический характер  $\gamma$ -распада захватного состояния, и модель прямого захвата, представляющая другой предельный случай высвечивания захватного состояния через исходную конфигурацию "ядро-мишень в основном состоянии +  $n$ -нейтрон". Данные модели, представляющие два крайних приближения механизма захвата, не дают удовлетворительного описания всей совокупности имеющихся экспериментальных результатов, в частности, особенностей первичных  $\gamma$ -спектров на реакции радиационного захвата тепловых нейтронов ядрами с  $A$  в областях максимумов огибающей функции  $\delta$ -нейтронов.

Плодотворной для понимания механизма взаимодействия нуклонов с ядрами явилась гипотеза Блоха и Фембаха, предполагающая важную роль в ядерных реакциях простых конфигураций, образующихся в результате первых актов взаимодействия налетающей частицы с ядром-мишенью (исходных состояний). Хотя в настоящее время имеется достаточно экспериментальных данных, ука-

вызванных на проявление в реакции  $(n, \gamma)$  входных состояний, теоретические исследования захвата через входные состояния ограничиваются, как правило, качественным обсуждением вопроса и количественных оценок относительных вкладов простых конфигураций в  $\gamma$ -распад захватного состояния нет. Это связано с тем, что расчеты ширины прямых  $\gamma$ -переходов с учетом входных состояний сложнее соответствующих оценок в случае прямого захвата или статистического описания  $\gamma$ -распада, так как требуют знания волновых функций нижних уровней ядра-продукта.

Во второй главе рассматривается подход к исследованию структуры высоковозбужденных состояний ядра, основанный на анализе первичного  $\gamma$ -спектра из реакции  $(n, \gamma)$ , делается выбор ядер для анализа и приведена подборка необходимых спектроскопических данных для исследуемых ядер.

Информацию о структуре захватного состояния несет спектр  $\gamma$ -лучей первого каскада. Задача интерпретации жесткой части первичного  $\gamma$ -спектра может быть сведена к установлению компонент волновой функции захватного состояния, ответственных за рассматриваемые  $\gamma$ -переходы.

Волновая функция захватного состояния является весьма сложной и содержит большое число компонентов квазичастичного и коллективного типа. Зенитрометрическое взаимодействие связывает это сложное состояние с относительно простыми низколежачими состояниями ядра-продукта, многие из которых могут быть описаны с помощью ядерных моделей. В случае, когда конечные уровни характеризуются простой структурой можно предполагать, что заселяющие их инициальные  $\gamma$ -переходы обусловлены в основном небольшим числом конфигураций волновой функции захватного состояния, в частности, входными состояниями.

Различные каналы  $\gamma$ -распада захватного состояния связываются с определенными конфигурациями его волновой функции, моделируемыми исходя из структуры нижних уровней ядра-продукта. При этом амплитуды конфигураций, являющиеся в общем случае суперпозициями коэффициентов разложения волновых функций резонансов, необходимо рассматривать в качестве параметров, значения которых находятся путем сравнения рассчитанных и экспериментальных вероятностей  $\gamma$ -переходов. Развитый аппарат

ядерных моделей и знание матричных элементов электромагнитного взаимодействия, расчитываемых более точно, чем матричные элементы ядерного взаимодействия, позволяют получить относительные и абсолютные (в случае, когда известны парциальные радиационные ширины захватного состояния, как например, при захвате в резонансах) значения вкладов простых конфигураций в волновую функцию высоковозбужденного состояния, через которые идет  $\gamma$ -распад. Относительные значения вкладов важны для понимания механизма реакции ( $n, \gamma$ ), в то время как абсолютные значения представляют интерес с точки зрения структуры высоковозбужденных состояний.

Для настоящего исследования структуры захватного состояния на реакции ( $n, \gamma$ ) на тепловых нейтронах были выбраны сферические четно-нечетные ядра-продукты с  $A = 50-80$  ( $Ti^{51}$ ,  $Cr^{53,55}$ ,  $Fe^{55,57}$ ,  $Ni^{59,61,63,65}$ ,  $Zn^{65,67,69}$ ,  $Ge^{71,73,75}$ ,  $Se^{77}$ ) и  $A \sim 140$  ( $Ba^{139}$ ,  $Ce^{141}$ ,  $La^{143}$ ), для которых имеются надежные данные по реакции ( $n, \gamma$ ). Спектры  $\gamma$ -лучей рассматриваемых ядер характеризуются разрешенными линиями высокой энергии, соответствующими прямым  $\gamma$ -переходам типа  $E1$  на  $p$ -уровни, расположенные в области возбуждения квадрупольного фона.

В третьей главе проводились модельные расчеты исследуемых ядер-продуктов с целью получения волновых функций нижних уровней, необходимых для расчета матричных элементов прямых  $\gamma$ -переходов из реакции ( $n, \gamma$ ). Для ядер  $Ti^{51}$  и  $Cr^{53}$ ,  $Fe^{55}$ ,  $Ba^{139}$ ,  $Ce^{141}$ ,  $La^{143}$  с одним валентным нейтроном расчеты проводились соответственно в рамках модели остов + нулеи с учетом первого возбужденного состояния остова  $2^+$  и двухфонового приближения обобщенной модели с промежуточной связью, дающих удовлетворительное описание свойств нижних уровней отмеченных ядер. Приближение промежуточной связи обобщенной модели с учетом квадрупольных фононов до двух использовалось также для получения спектров нижних уровней и волновых функций ядер  $Ni^{59}$ ,  $Fe^{57}$ ,  $Cr^{55}$  с тремя валентными нейтронами. В рассмотрении принимались только конфигурации с числом спинов  $J = I$ . При вычислении матричных элементов взаимодействия валентных нейтронов с остовом применялась техника Ревелогии-

ческих коэффициентов. В расчетах приближенно учитывался эффект сил спаривания. Согласно полученным результатам, введение поправки на спаривание, улучшая согласно теоретического спектра с экспериментальным, слабо влияет на структуру волновых функций нижних уровней. Предсказываемые моделью нижние уровни  $Ni^{59}$  и  $Cr^{55}$  удовлетворительно согласуются с экспериментальными. Для  $Fe^{57}$  согласие теоретического спектра с экспериментальным хуже, что может быть связано с существенным влиянием в данном случае конфигураций с seniority  $\nu = 3$ , не учитывавшихся в расчетах.

Расчеты для четно-нечетных изотопов  $Ni$  ( $Ni^{61,63,65}$ ),  $Zn$  ( $Zn^{65,67,69}$ ),  $Ge$  ( $Ge^{71,73,75}$ ),  $Se$  ( $Se^{77}$ ) проводились в рамках модели, учитывающей силы спаривания и квадрупольное взаимодействие между валентными нуклонами ( $P + Q$ -модели), с числом квадрупольных фононов до двух, давшей качественно правильное описание свойств нижних уровней данных ядер. Необходимо для вычисления матричных элементов взаимодействия взаимодействующей с фононами радиальные интегралы

$$\int_0^{\infty} R_{n\ell j}(r) R_{n'\ell' j'}(r) r^4 dr$$

( $R_{n\ell j}(r)$ ) - радиальная волновая функция нейтрона в состоянии  $n\ell j$  рассчитывалась как с волновыми функциями нуклона в потенциале Саксона-Вудса, так и потенциале гармонического осциллятора. Различия между полученными в обоих случаях значениями радиальных интегралов составляет в среднем  $\sim 10\%$ , что указывает на целесообразность использования в модельных расчетах простых осцилляторных функций.

Результаты модельного описания показывают: а) энергетический спектр сильно меняется при варьировании параметров модели в области их физических значений (в частности, константы взаимодействия нечетного нуклона с остовом), в то время как волновые функции нижних уровней слабо зависят от их величины, б) определяющий вклад ( $\approx 70\%$ ) в волновые функции уровней, расположенных в области однофононного возбуждения, дают конфигурации с числом квадрупольных фононов  $N = 0, 1$ .



В четвертой главе в рамках моделей, используемых для описания нижних уровней, вычислялись матричные элементы  $EI \gamma$ -переходов из захватного состояния на  $p$ -уровни в области однофононного возбуждения. В расчетах учитывались исходная конфигурация  $|s_{1/2}, 00; I/2^+\rangle$  и однофононные конфигурации  $|d_{3/2}, I2; I/2^+\rangle$ ,  $|d_{5/2}, I2; I/2^+\rangle$  волновой функции захватного состояния. Амплитуды данных конфигураций полагались параметрами, относительные значения которых находились с помощью метода наименьших квадратов. При вычислении радиальных интегралов использовались осцилляторные волновые функции.

Проведенные расчеты для четно-нечетных ядер  $Ni^{61,63,65}$ ,  $Zn^{65,67,69}$ ,  $Ge^{71,73,75}$ ,  $Se^{77}$  с использованием для нижних  $p$ -уровней волновых функций  $P+Q$ -модели показывают, что в указанных ядрах прямые  $EI \gamma$ -переходы на  $p$ -уровни, лежащие в однофононной области возбуждения могут быть объяснены с учетом возбуждения в реакции  $(n, \gamma)$  однофононных входных состояний, представляющих смесь квадрупольного возбуждения ядра-явления в одночастичного состоянии валентного нейтрона  $d_{3/2}$  или  $d_{5/2}$ . Результаты расчетов для ядер  $Ti^{51}$ ,  $Cr^{53,55}$ ,  $Fe^{55,57}$ ,  $Ni^{59}$ ,  $Ba^{139}$ ,  $Ce^{141}$ ,  $Nd^{145}$ , расположенных вблизи максимумов силовой функции  $s$ -нейтронов, показывают, что в реакции  $(n, \gamma)$  на ядрах  $Fe^{54}$ ,  $Ni^{58}$ ,  $Ba^{138}$ ,  $Ce^{140}$   $\gamma$ -переходы на нижние  $p$ -уровни обусловлены преимущественно исключиванием захватного состояния через входную конфигурацию. В случае реакций  $Cr^{52}(n, \gamma)$ ,  $Cr^{54}(n, \gamma)$ ,  $Fe^{56}(n, \gamma)$  вклад входных состояний в  $\gamma$ -распад захватного состояния сравним с вкладом исходной конфигурации. Существенную роль захват нейтрона через входные состояния играет в реакции  $Ti^{50}(n, \gamma)$ , приводя к сильному нарушению корреляции между приведенными вероятностями  $EI \gamma$ -переходов и нейтронными ширинами конечных  $p$ -уровней.

Полученные относительные значения коэффициентов разложения используются для оценки вкладов рассмотренных конфигураций в волновую функцию высоковозбужденного состояния с энергией, примерно равной энергии связи нейтрона. Согласно полученным оценкам для ядер с  $A \approx 50-80$  суммарный вклад конфигураций с числом квадрупольных фононов  $N = 0, 1$  в волновую функ-

ции высоковозбужденного состояния с энергией  $\sim B_n$  составляет величину порядка  $10^{-2} - 10^{-4}$  (уменьшаясь с ростом  $\lambda$ ), в то время как структура нижних уровней рассматриваемых ядер практически определяется такими конфигурациями.

Материалы диссертации докладывались на 22-ом и 23-ем ежегодных освещениях по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (Киев, 1972; Тбилиси, 1973), а также представлены на международной конференции по фотоядерным реакциям (США, Асиномар, 1973).

Основные результаты диссертации опубликованы  
в следующих работах:

1. В.И.Белоусова, В.А.Князько, В.А.Рудак. Прогр. и тез. докл. 19 ежегодн. совещ. по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, "Наука", Л., 1969, ч.2, стр.172.
2. В.И.Белоусова, В.А.Князько, В.А.Рудак. Изв.АН БССР, сер. физ.-мат., 4, 121 (1969).
3. В.И.Белоусова, В.А.Князько, В.А.Рудак. Изв.АН БССР, сер. физ.-мат., 5, 103 (1970).
4. В.А.Князько, В.А.Рудак. Прогр. и тез. докл. 21 ежегодн. совещ. по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, "Наука", Л., 1971, ч.2, стр.255.
5. В.А.Князько, В.А.Рудак. ЯФ, 13, 521 (1971).
6. В.А.Кнат'ко, В.А.Рудак. Nucl.Phys., A164, 417 (1971).
7. А.П.Богданов, В.А.Князько, А.В.Сорока, В.Н.Тадеев. ЯФ, 14, 909 (1971).
8. В.А.Князько, С.А.Негрей, В.А.Рудак, А.М.Хильманович. Изв. АН БССР, сер. физ.-мат., 3, 79 (1972).
9. В.А.Князько, В.А.Рудак. Прогр. и тез. докл. 22 ежегодн. совещ. по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, "Наука", Л., 1972, ч.2, стр.16.
10. В.А.Князько, В.А.Рудак. ЯФ, 15, 1132 (1972).
11. В.А.Кнат'ко, В.А.Рудак. Nucl.Phys., A194, 456 (1972).

12. В.А.Князько, В.Н.Нелетва, Э.А.Рудак. Прогр. и тез. докл. 23 ежегодн.сбвца. по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, "Наука", Л., 1973, стр.150.
13. В.А.Князько, В.Н.Нелетва, Э.А.Рудак. №, 17, 262 (1973).
14. V.A.Knat'ko, E.A.Rudak. Proceedings of the Inter. Conf. on Photonicuclear Reactions and Applications in Asilomar, USA, March 26-30, 1973, p.1069.

**К Н А Т Ь К О**  
**Владимир Андреевич**

**Исследование структуры захватного состояния в  
реакции радиационного захвата тепловых  
нейтронов четно-четными ядрами-мишенями  
с  $A \sim 50-80$  и  $A \sim 140$**

**(автореферат диссертации на соискание  
ученой степени кандидата физико-  
математических наук)**

**ЛТ 10282 Подписано к печати 12. IX. 1974 г.**

**Формат 60x90/16 п.л. 0,75, тир. 100 экз., зак. 181**

---

**Ротапринт ИФ АН БССР, Ленинский проспект, 70**



E000000365547 1