

Академия Наук Украины .
Институт Ядерных Исследований

на правах рукописи

ЛИБМАН Владимир Абрамович

УДК 539.172.4

**СПЕКТРЫ ГАММА-ЛУЧЕЙ ПРИ ЗАХВАТЕ РЕЗОНАНСНЫХ
НЕЙТРОНОВ ЯДРАМИ НЕОДИМА-143, 145 И ВАНАДИЯ-50**

Специальность: 01.04.16. - физика ядра и элементарных частиц

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Киев - 1993



00816216 (0)

№ 26.920

Робота виконана в Інституті ядерних досліджень АН України.

Научний керівник:

кандидат фізико-математических наук МУРЗИН А.В.

Офіційні опоненти:

доктор фізико-математических наук, професор Стрижак В.И.

доктор фізико-математических наук Здеєнко Ю.Г.

Ведущая організація:

Харьковский университет

Автореферат розослан "29" марта 1993 г.

Защита состоится "29" апреля 1993 г.

в 14 час. 15 мин. на заседании Специализированного Совета Д 016.03.01 при Институте ядерных исследований АН Украины по адресу: 252028, Киев-28, проспект Науки, 47.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Института ядерных исследований АН Украины.

Ученый секретарь специализированного совета

кандидат физико-математических наук

В.Д.Чеснокова

ЛННБ ім. В. Стефаніка
АН України

4B-26.920

Общая характеристика работы.

Актуальность проведенной работы.

Реакция радиационного захвата нейтронов атомными ядрами уже более полувека привлекает к себе внимание исследователей по нескольким причинам:

во-первых, это одна из наиболее распространенных ядерных реакций, доступная для экспериментального исследования на всех стабильных и некоторых радиоактивных ядрах;

во-вторых, получаемая в этой реакции физическая информация используется для развития ряда фундаментальных положений теории атомных ядер;

в-третьих, данные о сечениях радиационного захвата нейтронов широко используются при решении прикладных задач ядерной физики, например в таких областях, как ядерная энергетика, реакторостроение, радиационное материаловедение и различные применения активационного анализа в народном хозяйстве, медицине, геологии и т.д.

Изучение гамма-переходов между достаточно сложными начальными компаунд-состояниями и низколежащими конечными состояниями простой конфигурации позволило получить обширную информацию о спинах, четности, энергиях возбуждения начальных и конечных состояний, а также о самом механизме гамма-распада, в частности о влиянии гигантского электрического дипольного резонанса (ГЭДР) на вероятности этих гамма-переходов. Результаты исследований первичных гамма-переходов позволили проанализировать роль различных механизмов радиационного захвата, таких как компаунд-механизм (реакция с образованием составного ядра), прямая реакция (захват на твердой сфере), каналный захват (с изменением состояния валентных нейтронов относительно инертного остова), предравновесный механизм (захват с формированием входных состояний).

Особенно широкие возможности предоставляют исследования усредненных по резонансам спектров гамма-лучей радиационного захвата нейтронов, которые получили в последние два десятилетия

довольно широкое распространение.

Обычно для этих исследований использовались фильтрованные пучки нейтронов со средними энергиями 2 и 24 кэВ на основе природных изотопов скандия и железа, которые не обеспечивали необходимую для подобных исследований чистоту нейтронной линии и существенно ограничивали возможности эксперимента.

На реакторе ВВР-М ИЯИ АН Украины для исследований усредненных по нейтронным резонансам спектров гамма-лучей из (n, γ) -реакции разработаны нейтронные фильтры на основе природных и стабильных изотопов, позволяющие получать средние значения энергий нейтронов $\langle E_n \rangle = 1.9; 2.8; 3.5; 24.5; 45; 58$ и 132 кэВ с полной шириной на половине высоты (ПШВ) спектра нейтронов ΔE_n от $1,5$ до 5 кэВ и интенсивностями от $2 \cdot 10^6$ до $2 \cdot 10^7$ н/см² сек.

В настоящей работе для исследования спектров гамма-лучей кроме традиционных пучков нейтронов со средней энергией $\langle E_n \rangle \approx 2$ и 24 кэВ, впервые использовались различные модификации спектров нейтронных пучков со средними энергиями $\langle E_n \rangle \approx 1.4$ и ≈ 1.9 кэВ.

Примером исследований усредненных по резонансам спектров гамма-лучей радиационного захвата фильтрованных нейтронов являются проведенные в данной работе измерения спектров гамма-лучей неодима-144 и 146. Для этих ядер ранее было обнаружено нестатистическое усиление переходов на уровни 2_2^+ и неожиданно большое количество уровней с $J_\pi^K = 2^+$.

На примере ванадия-50 проиллюстрированы возможности методики фильтрованных пучков для измерения спектров гамма-лучей захвата в отдельных нейтронных резонансах. Для исследования двух близко расположенных резонансов ванадия-50 были сформированы два соответствующих нейтронных спектра, благодаря чему было подтверждено существование резонанса с энергией $E_\lambda = 1.9$ кэВ и определен его спин $J_\lambda = 13/2$.

Цель работы: разработка нейтронных интерференционных фильтров для исследования реакции радиационного захвата нейтронов; исследование полных нейтронных сечений материалов фильтров в области интерференционных минимумов и определение их

нейтронных параметров; разработка различных модификаций высокоэффективных гамма-спектрометров для измерения спектров гамма-лучей радиационного захвата нейтронов; измерение спектров гамма-лучей радиационного захвата фильтрованных нейтронов ядрами неодима-143, неодима-145 и ванадия-50; уточнение спинов и четностей нижних возбужденных уровней в исследуемых ядрах; исследование нестатистических эффектов в реакции (n, γ) на ядрах неодима-143 и 145; проверка существования у ядра ванадия-50 резонанса с энергией 1.9 кэВ и определение его нейтронных характеристик.

Научная новизна результатов и практическая ценность работы.

1) Впервые измерены полные нейтронные сечения четных изотопов никеля: Ni-58, Ni-60, Ni-62, Ni-64 в диапазоне энергий 2+8000 эВ, из анализа которых извлечены радиусы потенциального рассеяния и параметры отрицательных и ближайших положительных резонансов, а также подтверждена предсказываемая оптической моделью плавная зависимость радиуса потенциального рассеяния от массового числа.

2) На основе стабильных изотопов железа-54, хрома-52, никеля-58 и никеля-60 и ряда природных элементов разработаны новые нейтронные фильтры, позволяющие сформировать оптимальные пучки нейтронов со средними энергиями 1.8, 2.8, 3.5, 45, 58 и 132 кэВ, для исследования спектров гамма-лучей из реакции (n, γ) .

3) Впервые использованы фильтрованные пучки нейтронов атомного реактора со средними энергиями ~1.4 и 1.9 кэВ для исследования реакции радиационного захвата нейтронов в отдельных резонансах.

4) Созданы высокоэффективные системы многоканальных гамма-спектрометров, позволяющие в сочетании с широким набором фильтрованных пучков нейтронов проводить уникальные исследования в области ядерной спектроскопии, нейтронной физики и фундаментальных свойств атомного ядра.

5) Впервые исследованы спектры гамма-лучей радиационного захвата нейтронов ядром ванадия-50 в резонансах с энергиями 1.42

и 1.9 кэВ. Спин резонанса с энергией 1.9 кэВ определен впервые.

6) Впервые проведена оценка вероятности проявления нестатистических эффектов при распаде захватных состояний ядер неодима-144 и 146 и предложены возможные конфигурации входных состояний, объясняющие эти эффекты.

Основные положения, выносимые на защиту.

1) Набор новых пучков фильтрованных нейтронов реактора для исследования спектров гамма-лучей радиационного захвата, обладающих высокой интенсивностью - $(2 \cdot 10^6 + 2 \cdot 10^7)$ н/(см²·с), высокой степенью моноэнергетичности (относительная интенсивность основной линии не менее 80%) и оптимальной шириной энергетического нейтронного распределения (ПШПВ в пределах 0.6 + 5 кэВ).

2) Результаты измерения полных нейтронных сечений четных изотопов никеля: никель-58, 60, 62, 64 в диапазоне энергий нейтронов 2 + 8000 эВ и их параметризация простейшими многоуровневыми формлами как в области интерференционных минимумов сильных резонансов, так и в окрестности самих резонансов.

3) Многоканальный гамма-спектрометр для одновременного измерения до шести спектров гамма-лучей радиационного захвата фильтрованных нейтронов в режиме парного или антикомптоновского спектрометра.

4) Новые экспериментальные спектроскопические данные о характеристиках нижних возбужденных уровней неодима-144 и неодима-146, полученные из анализа спектров первичных и вторичных гамма-переходов при радиационном захвате фильтрованных нейтронов.

5) При распаде захватных состояний ядер неодима-144 и неодима-146 обнаружено нестатистическое усиление гамма-переходов на нижние уровни 2_2^+ и 4_1^+ , объясняющееся повышенным вкладом двухчастичной нейтронной конфигурации $(2f_{7/2}, 2g_{9/2})_3^n$ в общую волновую функцию захватного состояния.

6) В ядре ванадия-⁵¹ подтверждено существование резонанса 1.9 кэВ и определен его спин. Обнаруженное более низкое, чем у соседних ядер с $A_{\text{яд}} \approx 80$, значение коэффициента корреляции между

приведенными интенсивностями первичных гамма-переходов и спектроскопическим фактором $(2J_f + 1)S$ конечного состояния для ванадия-51 объясняется вкладом нуклон-фононной входной конфигурации $|12, (1f_{7/2})_p^{-1} (1f_{7/2})_n (1g_{9/2})_n; 11/2^+, 13/2^+\rangle$, распадающейся одночастичными E1 переходами на однофононные протонные конфигурации $|12, (1f_{7/2})_p; 9/2^-, 11/2^-\rangle$.

Апробация работы и публикации.

Основные результаты диссертации изложены в 12 печатных работах и докладывались на I Международной конференции по нейтронной физике, Киев, сентябрь 1987 г.; на XXXVII Всесоюзном совещании по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Ереван, апрель 1988 г.; на Международной конференции по избранным вопросам структуры ядра, Дубна, июль 1989 г.; на семинаре Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ, Дубна, июль 1990 г.; на Международном семинаре "Взаимодействие медленных нейтронов с ядрами", Дубна, апрель 1991 г.

Объем и структура диссертации.

Диссертация состоит из основного текста на 110 страницах, 43 рисунков, 16 таблиц и списка литературы из 93 наименований. В основной текст входит введение, пять глав и заключение.

Краткое содержание диссертации.

В введении обоснована актуальность работы, сформулирована ее цель, кратко изложено содержание диссертации и приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе описаны проблемы, возникающие при разработке и создании интерференционных и композиционных нейтронных фильтров для исследования усредненных по резонансам спектров гамма-лучей при захвате нейтронов атомными ядрами.

Приведены элементы теории нейтронных сечений в области интерференционных минимумов и их использование для создания пучков фильтрованных нейтронов атомного реактора. Сформулированы критерии возможности использования отдельных материалов для конструирования нейтронных фильтров, а также оптимальные условия

для исследования спектров гамма-лучей из реакции радиационного захвата на фильтрованных пучках нейтронов.

Описаны эксперименты по исследованию полных нейтронных сечений в области интерференционных минимумов материалов, используемых в дальнейшем в качестве компонентов нейтронных фильтров. На примере четных изотопов никеля показана возможность удовлетворительной параметризации полного нейтронного сечения простейшими многоуровневыми выражениями вблизи интерференционных минимумов сильных s -резонансов (никель-60,64), в окрестности самих резонансов (никель-62) и вдали от сильных резонансов (никель-58). Показана сильная чувствительность экспериментальных данных к параметрам отрицательных резонансов, а в области интерференционного минимума - к радиусу потенциального рассеяния R' и всем параметрам ближайшего резонанса E_{λ} , Γ_{λ} и $\Gamma_{n\lambda}$.

Приведены нейтронные и технические характеристики набора фильтров, применяемых для измерения спектров гамма-лучей радиационного захвата нейтронов атомными ядрами, и некоторые особенности геометрии эксперимента.

Во второй главе описаны различные варианты гамма-спектрометров, разработанных для измерения спектров гамма-лучей радиационного захвата нейтронов атомными ядрами. Показаны преимущества гамма-спектрометров пиков двойного вылета аннигиляционных гамма-квантов, необходимость системы стабилизации измерительных характеристик спектрометрического тракта, преимущества многодетекторных спектрометров и обсуждены возникающие при этом сложности при обработке измеренных спектров. Описаны методы определения измерительных характеристик спектрометра и система их стабилизации. Оценено влияние этих характеристик на погрешности получаемых экспериментальных данных.

В третьей главе изложены основы теории радиационного захвата нейтронов. Приведен обзор методов получения усредненных по резонансам спектров гамма-лучей захвата нейтронов, а также методы извлечения физической информации из этих спектров.

Рассмотрены различные механизмы реакции радиационного захвата нейтронов атомными ядрами, такие как составное ядро,

прямой захват, захват валентного нейтрона, образование входных состояний. Показаны особенности этих механизмов, проявляющиеся в спектрах первичных переходов.

Наблюдающаяся кобелляция между интенсивностью первичного гамма-перехода и степенью одночастичности конечного p -уровня может быть интерпретирована как прямой захват нейтрона на p -уровень с излучением гамма-кванта с энергией E_γ , соответствующей разнице между энергией отделения нейтрона B_n и энергией конечного уровня E_p .

Для валентного механизма захвата наиболее подходящими являются с-ласти $A \sim 50$ при захвате α -нейтронов и $A \sim 100$ при захвате p -нейтронов. В первой области гамма-переходы происходят между $3s$ начальными состояниями и низколежащими $2p$ конечными состояниями, во второй области - между $3p$ начальными и $3s$ конечными состояниями.

Вклады в сечение от захвата через входные состояния (так же как и от прямого захвата), могут достигать 10-12% величины полного сечения захвата. Кроме того, механизм образования входных состояний способствует в возбуждению $M1$ гигантских резонансов для ядер с $A \sim 110$, что, как ожидается, приведет к повышению $M1$ матричных элементов до уровня $E1$.

Заканчивается глава кратким описанием корреляционного анализа, используемого для определения вклада различных механизмов захвата нейтронов, и методов экспериментальной проверки проявления нестатистических эффектов в спектрах гамма-лучей радиационного захвата.

В четвертой главе рассмотрены спектры гамма-лучей радиационного захвата нейтронов со средней энергией 2 кеВ ядрами неодима-143 и неодима-145. Исследование этих ядер представляет интерес с точки зрения изучения системы возбужденных уровней ядер, являющихся переходными от сферических к деформированным.

Результаты этих измерений позволили уточнить спины нижних возбужденных уровней $^{144, 146}\text{Nd}$. По сравнению с ранее проведенными измерениями с ^{10}B -фильтром, в настоящей работе выявлено на $\sim 1\%$ больше переходов. Благодаря более широкому диапазону усреднения,

надежно определены спины конечных состояний, в том числе и для уровней с отрицательной четностью.

Результаты настоящей работы позволили также устранить несоответствие систем уровней $^{144,146}\text{Nd}$ статистике спинов уровней. В имеющихся в литературе схемах уровней $^{144,146}\text{Nd}$, наблюдается слишком большое число уровней 2^+ , что плохо согласуется с модельными расчетами. До энергии возбуждения 2552 кэВ ранее было идентифицировано 16 уровней 2^+ и всего лишь 4 уровня 3^+ и 4^+ . По данным настоящей работы в этом диапазоне энергий наблюдается 10 уровней 2^+ и 11 уровней 3^+ и 4^+ , что гораздо лучше согласуется с общими положениями о статистике уровней.

Зависимость суммарного заселения нижних возбужденных уровней от разности спинов ΔJ начального и конечного состояния была использована для определения спинов нижайших уровней из анализа гамма-спектров вторичных переходов при захвате фильтрованных нейтронов с различными энергиями. С увеличением энергии нейтронов изменяются соотношения парциальных сечений захвата s -, p - и d -нейтронов и вклад от резонансов с более высокими спинами существенно возрастает, что приводит к изменению заселяемостей нижних возбужденных уровней с различными спинами.

Исследование вторичных гамма-переходов между нижайшими уровнями ^{146}Nd при средних энергиях фильтрованных нейтронов 2, 24, 54 и 144 кэВ позволило продемонстрировать возможности данного метода.

Проведенный по методу Монте-Карло расчет статистической достоверности увеличения заселяемости уровней 4_1^+ и 2_2^+ в неодиме-144 показал, что измеренные в данной работе интенсивности переходов на эти уровни маловероятны с точки зрения статистической модели ядра (3.5% для 4_1^+ и 1.3% для 2_2^+). Для объяснения наблюдаемого усиления вышеупомянутых переходов была проведена оценка вкладов различных конфигураций в механизм захвата. Учитывались следующие конфигурации: $|(3s_{1/2}, 1, 1/2)I, (00,00)0; J_i\rangle$ (конфигурации входного канала, через которые идет валентный захват нейтрона), $|(2d_{3/2}, 1, 7/2)I, (12,00)2; J_i\rangle$, $|(2d_{5/2}, 1, 7/2)I, (12,00)2; J_i\rangle$ (одно-

Фононные входные состояния, связанные с конечными уровнями одночастичными гамма-переходами, $|(2p_{3/2}, 1f_{7/2})I, (12, 13)R; J_i\rangle$, $|(1f_{7/2})^2I, (12, 13)R; J_i\rangle$ (двухфононные конфигурации, из которых возможны коллективные гамма-переходы типа E1). Проведенные расчеты предсказывают более чем двухкратное увеличение вероятности переходов на уровень 2_2^+ за счет преобладающего вклада (~80%) однофононных конфигураций $|(2d_{5/2}, 1f_{7/2})I, (12, 00)2; J_i\rangle$, но не предсказывают увеличения вероятности заселения для уровня 4_1^+ , что может быть объяснено заселением этого уровня через другие конфигурации.

Полученные в данной работе результаты исследования спектров гамма-лучей из реакции $^{143}\text{Nd}(n, \gamma)^{144}\text{Nd}$ были использованы В.В.Вороновым и В.А.Князько в расчетах по квазичастично-фононной модели ядра для модельной интерпретации наблюдающегося усиления первичных гамма-переходов в неодиме-144. Результаты расчетов показали, что это усиление может быть объяснено также повышенным вкладом в захватное состояние двухчастичной нейтронной конфигурации $(2f_{7/2}, 2g_{9/2})_3^n$, максимум силы которой находится в области энергии связи нейтрона в неодиме-144.

В пятой главе проводится анализ спектров гамма-лучей захвата ядром ванадия-50 фильтрованных нейтронов со средними энергиями, близкими к энергии резонансов 1.42 и 1.9 кеВ. Исследована корреляция между приведенными интенсивностями первичных переходов $I_{\gamma f}^0 = I_{\gamma f} E_{\gamma}^{-3}$ в ванадии-50 и спектроскопическими факторами $(2J_f + 1)S$ соответствующих конечных состояний этих переходов.

Для проверки существования резонанса 1.9 кеВ и исследования гамма-переходов из каждого резонанса были сформированы два варианта пучков фильтрованных нейтронов со средними энергиями $\langle E_n \rangle = 1.38$ и 1.94 кеВ. Совместный анализ обоих спектров позволил подтвердить существование резонанса при энергии 1.9 кеВ и определить значение его спина $J_{\lambda} = 13/2$.

Ванадий-50 принадлежит к области ядер, в которой проявляется особенность механизма прямого захвата n -нейтронов. При этом приведенная интенсивность $I_{\gamma f}^0 = I_{\gamma f} E_{\gamma}^{-3}$ первичных переходов должна коррелировать с величиной определяемого в (d, p) -реакции

спектроскопического фактора $(2J_{\gamma}+1)S$ конечного состояния. Определенное экспериментально из анализа измеренных спектров среднее значение коэффициента корреляции ρ между I_{γ}^0 и $(2J_{\gamma}+1)S$ для переходов из четырех резонансов ванадия-50 (-0.016, 0.167, 1.42 и 1.9 кэВ) составляет 0.25. Более низкое значение коэффициента корреляции ρ для ванадия-51, по сравнению с соседними ядрами с $A \sim 25+80$, связано с переходами на уровни 1609 кэВ ($11/2^-$) и 1813 кэВ ($9/2^-$), имеющими малое значение спектроскопического фактора $(2J_{\gamma}+1)S$, но довольно большую величину соответствующих приведенных интенсивностей переходов I_{γ}^0 . Эти уровни можно интерпретировать как однофоновные протонные конфигурации $|12, (1f_{7/2})_p; 9/2^-, 11/2^- \rangle$, по аналогии с уровнем 1554 кэВ в четно-четном ядре титана-50. Повышение заселенности этих уровней одночастичными E1 переходами из нукл. н-фоновной влодной конфигурации $|12, (1f_{7/2})_n^{-1} (1f_{7/2})_p (1g_{9/2})_n; 11/2^+, 13/2^+ \rangle$, позволяет объяснить уменьшение коэффициента корреляции ρ .

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Основные результаты и выводы.

1. Разработан и внедрен набор новых нейтронных фильтров, соответствующих требованиям, предъявляемым к источникам нейтронов для исследования спектров гамма-лучей из реакции радиационного захвата нейтронов, т.е. обладающих высокой интенсивностью, высокой степенью моноэнергетичности, энергетической шириной нейтронной линии в пределах $0.6 + 5$ кэВ.

2. Проведены исследования в области интерференционных минимумов полных нейтронных сечений материалов, используемых для создания нейтронных фильтров, а также параметризация полученных сечений простейшими многоуровневыми формулами как в области интерференционных минимумов сильных резонансов, так и в окрестности самих резонансов.

3. Разработан, отлажен и внедрен многоканальный гамма-спектрометр для одновременного измерения до шести спектров гамма-лучей радиа. ионного захвата фильтрованных нейтронов в

режиме парного или антикомптоновского спектрометра.

4. Получены новые спектроскопические данные о характеристиках нижних возбужденных уровней неодима-144 и неодима-146 из анализа усредненных по резонансам первичных и вторичных гамма-переходов при захвате фильтрованных нейтронов.

5. Исследованы нестатистические эффекты при распаде захватных состояний в ядрах неодима-144 и неодима-146. Обнаруженное нестатистическое усиление гамма-переходов на нижние уровни 2_2^+ и 4_1^+ может быть объяснено повышенным вкладом различных конфигураций входных состояний в общую волновую функцию захватного состояния.

6. Измерены спектры гамма-лучей при захвате ванадием-50 нейтронов в отдельных резонансах 1.42 и 1.9 кеВ. Подтверждено существование резонанса 1.9 кеВ и определен его спин. Обнаружено более низкое, чем у соседних ядер с $A \approx 50$, значение коэффициента корреляции между приведенными интенсивностями первичных гамма-переходов и спектроскопическим фактором $(2J_f + 1)S$ конечного состояния, что объясняется вкладом нуклон-фононной входной конфигурации $|12, (1f_{7/2})_n^{-1} (1f_{7/2})_p (1g_{9/2})_n; 11/2^+, 13/2^+\rangle$, связанной одночастичными E1 переходами с однофононными протонными конфигурациями $|12, (1f_{7/2})_p; 9/2^-, 11/2^-\rangle$.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Кононенко И.В., Либман В.А., Мурзин А.В., Кнатько В.А., Шиманович Е.А. Спектр γ -квантов при захвате нейтронов с энергией 2 кеВ ядром ^{143}Nd . // Изв. АН СССР. сер. физ. - 1986. - Т.50, № 5. - С.883-886.
2. Кнатько В.А., Кононенко И.В., Либман В.А. и др. Расчет вероятности высокоэнергетических гамма-переходов в реакции захвата нейтронов с энергией 2 кеВ ядром неодима-143 // Изв. АН СССР. сер. физ. - 1987. - Т.51, № 5. - С.926-929.
3. Литвинский Л.Л., Ворона П.Н., Кривенко В.Г. и др. Полные нейтронные сечения и резонансные параметры четных изотопов никеля в диапазоне энергий 2 - 8000 эВ // Вопросы атомной науки и техники. - 1990. - Сер. Ядерные константы,

вып. 3.-с.27-38.

4. Мурзин А.В., Вертебный В.П., Гаврилик В.И. и др. Нейтронные фильтры на основе ванадия, марганца, серы и стабильных изотопов хрома-52, железа-56, никеля-58 и никеля-60 // Атомная энергия.-1989.-т.67, вып.3.-с.216-218.
5. Мурзин А.В., Либман В.А., Рудык А.Ф. Фильтрованные пучки реакторных нейтронов со средними энергиями 0,9, 1,1 и 1,4 кэВ // Нейтронная физика: Материалы 5-й Всесоюзной конференции по нейтронной физике, Киев, сентябрь 1980 г.-М.:ЦНИИатоминформ.-1980.-Ч.2.-с.244-248.
6. Мурзин А.В., Либман В.А., Кононенко И.В., Лубченко Н.А. Спектры гамма-лучей из реакции $^{50}\text{V}(n,\gamma)$ при энергии нейтронов 2 кэВ // Нейтронная физика: Материалы 1-й Международной конференции по нейтронной физике, Киев, 14-18 сент.1987 г.-М.:ЦНИИатоминформ, 1988.-Т.2.-с.248.
7. Мурзин А.В., Либман В.А., Литвинский Л.Л. и др. Нейтронно-физические исследования на фильтрованных пучках нейтронов // Тезисы Международной конференции по избранным вопросам структуры ядра, Дубна, июль 1989 г.-Дубна, Д4-89-327, 1989.-с.83.
8. Литвинский Л.Л., Либман В.А., Мурзин А.В. Установка для определения угловых распределений упруго и неупруго рассеянных нейтронов с помощью нейтронных фильтров.- Киев, 1985.-40 с.- (Препринт/АН Украины. Ин-т ядерных исследований; КИЯИ-85-35).
9. Мурзин А.В., Вертебный В.П., Кирилук А.Л. и др. Средние параметры взаимодействия промежуточных нейтронов с ядром урана-238 // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерные константы.-1986.-вып.4.-с.30-36.
10. Мурзин А.В., Либман В.А., Литвинский Л.Л., Лубченко Н.А. Измерение полных нейтронных сечений и спектра нейтронов атомного реактора в интервале энергий 20-90 кэВ с помощью серного фильтра // Нейтронная физика: Материалы I Международной конференции по нейтронной физике, Киев, 14-18 сент.1987 г.-М.:ЦНИИатоминформ, 1988.-Т.2.-с.170-174.

11. Пуртов О.А., Шкаруп А.М., Архипов В.Н. и др. Методика измерения полных нейтронных сечений атомных ядер в диапазоне энергий 100-1000 кэВ с помощью фильтрованных пучков нейтронов атомного реактора.-Киев, 1989.- 19 с.- (Препринт/АН УССР. Ин-т ядерных исследований; КИТИ-89-26).
12. Klora J., Borner H.G., T.von Egidy et al. Nuclear Structure Investigations and Lifetime Measurements in ^{156}Gd // Materials of Munich Acoelerator Annual Report, Germany.- 1990.

ІНСТИТУТ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
НАЦІОНАЛЬНОГО АКАДЕМІЧНОГО ЦЕНТРУ НАУК І УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
НАЦІОНАЛЬНОГО АКАДЕМІЧНОГО ЦЕНТРУ НАУК І УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
НАЦІОНАЛЬНОГО АКАДЕМІЧНОГО ЦЕНТРУ НАУК І УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
НАЦІОНАЛЬНОГО АКАДЕМІЧНОГО ЦЕНТРУ НАУК І УКРАЇНИ

**ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України**

ЛИБМАН Владимир Абрамович

СПЕКТРЫ ГАММА-ЛУЧЕЙ ПРИ ЗАХВАТЕ РЕЗОНАНСНЫХ НЕЙТРОНОВ
ЯДРАМИ НЕОДИМОВ-143, 145 И ВАНАДИЯ-50

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

Усл.-печ.л. 1.0

Подписано к печати 12.03.93

Тип.заказ 33 Тираж 100

СКТБ с ЭП Института ядерных исследований АН Украины
252028, Киев-28, проспект Науки, 47.

1171060

СЛУЖБЕНИ ДОКУМЕНТ

СЛУЖБЕНИ ДОКУМЕНТ КОЈИ СЕ НАЈДИТЕ ПОСРЕДСТВОМ НА
РЕПУБЛИКАНСКИ АРХИВ - Београд, 145. 145. 145. 145. 145.

СЛУЖБЕНИ ДОКУМЕНТ КОЈИ СЕ НАЈДИТЕ ПОСРЕДСТВОМ НА
РЕПУБЛИКАНСКИ АРХИВ - Београд, 145. 145. 145. 145. 145.

Београд, 12. 12. 12.

Универзитет у Београду

Београд, 33

Београд, 12.

СЛУЖБЕНИ ДОКУМЕНТ КОЈИ СЕ НАЈДИТЕ ПОСРЕДСТВОМ НА
РЕПУБЛИКАНСКИ АРХИВ - Београд, 145. 145. 145. 145. 145.

141000

Ab 26.92

AB 26.920