

C 341.1g
C - 792

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

3 - 5799

М. Стэмпиньски

**СПЕКТРЫ α - РАСПАДА
НЕЙТРОННЫХ РЕЗОНАНСОВ**

**Специальность 0.1 0.55 -
физика атомного ядра и космических лучей**

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

Дубна 1971

М. Стампиньски

СПЕКТРЫ α - РАСПАДА
НЕЙТРОННЫХ РЕЗОНАНСОВ

Специальность 0.1 0.55 -
физика атомного ядра и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник
Ю.П. Попов.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник
К.Я. Громов,

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник
В.П. Вертебный.

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Институт атомной энергии им. И.В. Курчатова.

Автореферат разослан " " 1971 г.

Защита диссертации состоится " " 1971 г. на заседании Объединенного Ученого совета ЛЯР и ЛНФ ОИЯИ.

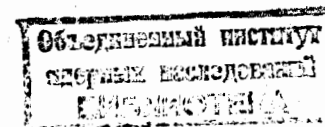
Адрес: Дубна, Московской области, ОИЯИ, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Учёный секретарь Совета

Э.Н. Каржавина

7808 89



Исследование α -распада возбужденных состояний атомных ядер открывает новые возможности как для получения сведений о структуре возбужденных состояний и их спинах, так и для изучения самого процесса α -распада. Наиболее интересным является, по-видимому, изучение вероятности образования α -частицы на поверхности ядра, характеризуемой приведенной α -шириной для различных состояний возбужденного ядра. Одним из способов получения высоковозбужденных состояний ядра является захват медленных нейтронов - предмет исследований нейтронной спектроскопии.

Нейтронная спектроскопия дает возможность четко разделять близлежащие возбужденные уровни с энергией возбуждения примерно 5-9 Мэв. Резонансные реакции (n, α) можно рассматривать как процесс образования и α -распада составного ядра. Характеристики упомянутого типа α -распада определяются структурой распадающегося состояния ядра. Однако оказалось, что наблюдать α -распад резонансных состояний довольно трудно, поскольку он подавляется другими, более "быстрыми" видами снятия возбуждения ядра (в основном испусканием γ -лучей и нейтронов). Из-за малой проникаемости кулоновского барьера для α -частиц в области средних и тяжелых ядер, реакция (n, α) идет с очень малыми сечениями, на 5-9 порядков меньшими сечений радиационного захвата, что создает принципиальные трудности в исследовании реакции

(n, α) в упомянутой области ядер. Поэтому исследования такого рода проводились до недавнего времени только на тепловых нейтронах, а в последнее время также исследовались полные α -ширины в отдельных резонансах^{/1-3/}. Первые исследования спектров α -частиц после захвата тепловых нейтронов были проведены с плохим разрешением по энергии α -частиц. Заметное улучшение энергетического разрешения было достигнуто Макфарланом и др.^{/4/} Однако следует отметить, что изучение α -спектров после захвата тепловых нейтронов часто дает результаты, интерпретация которых затрудняется из-за отсутствия сведений о вкладе отдельных резонансов в тепловое сечение реакции (n, α). Значительно больший объем физической информации можно получить, исследуя спектры α -частиц из целого ряда изолированных резонансных состояний отдельного ядра. Такие исследования являются по сути дела двухмерными, позволяющими не только получить парциальные вероятности (α -ширины) отдельных переходов, но и проследить, как меняются парциальные α -ширины от резонанса к резонансу, а также в зависимости от спина состояния компаунд-ядра. К сожалению, из-за малого эффективного сечения реакции (n, α), значительного фона конкурирующей реакции (n, γ), а также малых интенсивностей резонансных нейтронов у современных источников нейтронов, эксперименты подобного рода до последнего времени не проводились.

В диссертации представлена разработка методики спектрометрических измерений α -распада резонансных состояний ядер, дано описание созданного автором спектрометра α -частиц с большой площадью мишени, способного работать в интенсивных полях слабоионизирующих частиц, а также результаты первых измерений спектров α -распада резонансных состояний, проведенных для ядер-мишеней ^{145}Nd и ^{147}Sm .

Глава I диссертации содержит обзор некоторых теоретических представлений об α -распаде, его закономерностях и исследованиях возбужденных состояний, получаемых после захвата тепловых и резонансных нейтронов.

Глава II содержит обсуждение требований, предъявляемых α -спектрометрам для исследования α -распада нейтронных резонансов на пучке нейтронов от импульсного реактора и результаты разработки методики измерений. Рассмотрение характеристик α -спектрометров, работающих на основе известных в настоящее время принципов, показало, что для данных измерений могут быть перспективными только сцинтилляционный спектрометр с газовым сцинтиллятором или ионизационный спектрометр.

Разработанный нами сцинтилляционный α -спектрометр с применением электрического поля^{/5/} оказался непригодным, так как невозможно было достичь требуемой разрешающей способности по энергии α -частиц и достаточно малой чувствительности к γ -квантам. В дальнейшем было проведено исследование различных вариантов ионизационной камеры, отличающихся геометрией, системой электродов, условиями работы и геометрией ее расположения относительно нейтронного пучка^{/6,7/}. В результате исследований построен ионизационный α -спектрометр, который состоит из:

- 1) набора ионизационных камер с сеткой;
- 2) радиотехнических схем для усиления, формирования, отбора и стабилизации импульсов по амплитудам;
- 3) системы откачки и наполнения рабочим газом.

Одна из камер - большая многосекционная камера с площадью мишени 9000 см^2 , и была применена в измерениях для исследования спектров α -распада нейтронных резонансов, рас-

положенных по времени от 400 мксек и дальше после возникновения импульса мощности в реакторе. Вторая ионизационная камера представляет собой практически одну секцию большой камеры с собственным кожухом, но с иным расположением электродов. Эта камера совместно со щелевым коллиматором позволила исследовать спектры α -распада нейтронных резонансов, расположенных по времени от 100 мксек и дальше после нейтронной вспышки импульсного реактора при больших потоках нейтронов. Ионизационный α -спектрометр обладает следующими параметрами: максимальная полезная площадь мишени $S \approx 9000 \text{ см}^2$, разрешающая способность по энергии α -частиц $\Delta E \approx 100 \text{ кэВ}$ для $E_\alpha \approx 5 \text{ МэВ}$ вне пучка и 200–400 кэВ для $E_\alpha \approx 10 \text{ МэВ}$ в пучке нейтронов от импульсного реактора, собственный фон в интервале энергии 5 – 10 МэВ составляет 120 имп/час. Облучение камеры γ -квантами с $N_\gamma = 6 \cdot 10^7 \text{ } \gamma / \text{сек}$ от источника ^{137}Cs приводит к ухудшению разрешающей способности ионизационного α -спектрометра со 100 до 230 кэВ при $E_\alpha \approx 5 \text{ МэВ}$. При этом возможна также регистрация γ -квантов из-за многократных наложений импульсов от электронов. При пороге выше 5 МэВ регистрация γ -квантов идет со скоростью $\ll 1 \text{ имп/мин}$. В той же главе детально обсуждается влияние различных факторов на разрешающую способность α -спектрометра. Особое внимание уделяется исследованию и обсуждению его работы в интенсивных полях слабоионизирующих частиц.

Глава III посвящена описанию экспериментальной установки в целом и условий проведения эксперимента, приводятся результаты измерений. Кратко описан метод спектрометрии нейтронов по времени пролета и принцип многомерного анализа результатов эксперимента. Приводятся графики зависимости счёта α -частиц

в реакциях $^{145}\text{Nd}(n, \alpha)^{142}\text{Ce}$ и $^{147}\text{Sm}(n, \alpha)^{144}\text{Nd}$ от времени пролета нейтронов, а также спектры α -распада двух резонансов ^{145}Nd и двенадцати резонансов ^{147}Sm . Описана методика обработки результатов измерений и получения характеристик резонансов (полных и парциальных α -ширин).

Глава IV содержит обсуждение результатов и полученные выводы.

В результате измерений [7–9] получены значения полных α -ширин для 20 резонансов и даны верхние пределы α -ширин еще для четырех резонансов ^{147}Sm . Зависимость счёта α -частиц от времени пролета нейтронами базы 100 м показана на рис. 1. Усредненная по 20 резонансам полная α -ширина равна $\langle \Gamma_\alpha \rangle = (2,11 \pm 0,46) \text{ мкэВ}$. Ожидаемая средняя α -ширина для этого ядра по статистической модели $\langle \Gamma_\alpha \rangle_{\text{ст.}} = 4,6 \pm 1,0 \text{ мкэВ}$.

Распределение экспериментальных полных α -ширин разумно описывается теоретическим распределением, рассчитанным в предположении случайных и независимых флуктуаций приведенных α -ширин в отдельных выходных каналах реакции (фиксированных конечными состояниями и значениями орбитального момента l). На основании этого распределения с вероятностью $> 0,99$ резонансам 160,8; 183,7; 190,8 и 221,6 эВ приписан спин $3^- / 10$.

Измерены спектры α -частиц распада 12 резонансов ^{147}Sm и 2-х резонансов ^{145}Nd . На рис. 2 показаны α -спектры распада 12 резонансов ^{147}Sm . Для обоих ядер существование α -перехода в основное состояние конечного ядра (0^+) свидетельствует о том, что спин распадающегося резонансного состояния равен 3^- , так как этот переход (α_0) из резонансных состояний со спином 4^- , получающихся после захвата s -нейтронов, запрещен

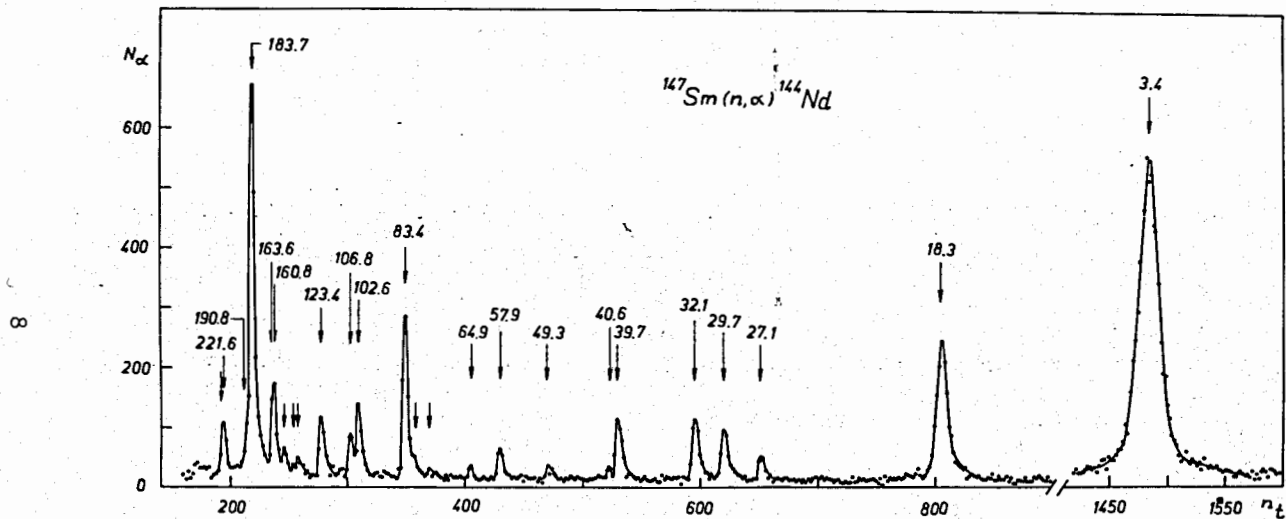


Рис. 1. Зависимость счёта α -частиц от времени пролета нейтронов. Стрелками указаны положения резонансов, энергия которых определена по измерению реакции (n, γ) с лучшим разрешением, чем для реакции (n, α) .

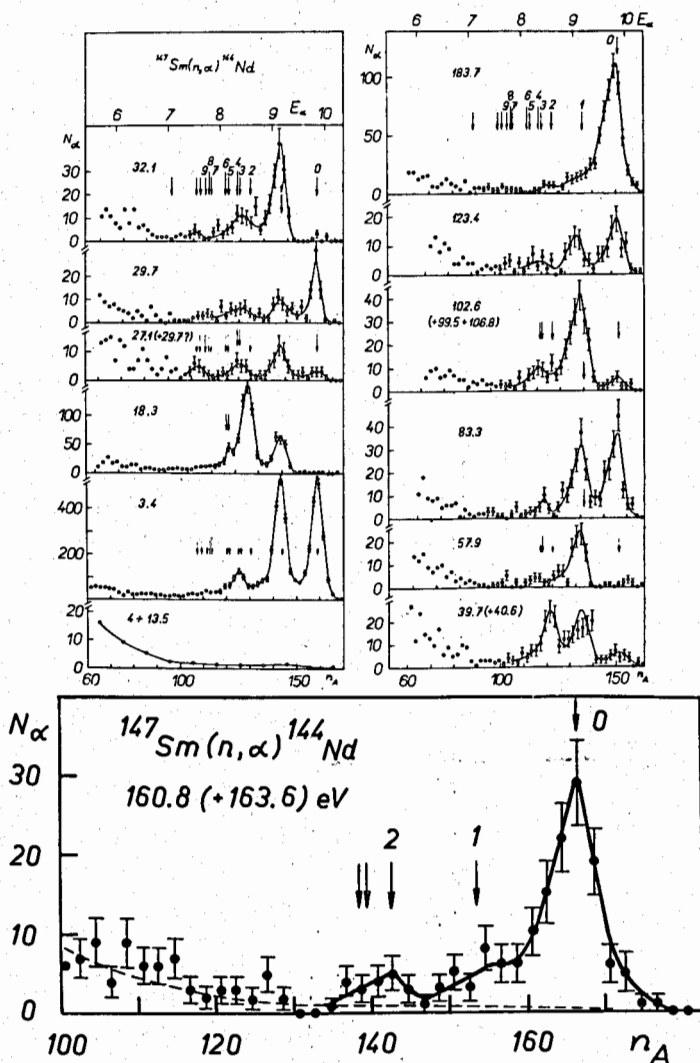


Рис. 2. Спектры α -частиц распада 12 резонансных состояний и спектр фона между резонансами 3,4 и 18,3 эВ. Сверху дается шкала энергии α -частиц в Мэв; стрелками показаны ожидаемые положения групп α -частиц, соответствующих переходам в состояния конечного ядра ^{144}Nd .

правилами отбора. По наличию α_0 -переходов определены спины десяти резонансов ^{147}Sm и обоих исследованных резонансов ^{145}Nd . Надо отметить, что спины трех резонансов ^{147}Sm , определенные по распределению полных α -ширин, подтверждены существованием переходов в основное состояние; для четвертого резонанса (190,8 эв) спектр не измерялся.

На основании определенных из спектров относительных интенсивностей α -переходов вычислены парциальные α -ширины перехода в основное, первое, второе и неразрешенные третье + четвертое возбужденные состояния конечного ядра в реакции $^{147}\text{Sm}(n, \alpha)^{144}\text{Nd}$ и в основное и первое возбужденные состояния в реакции $^{145}\text{Nd}(n, \alpha)^{142}\text{Ce}$. Наблюдаемый большой разброс парциальных α -ширин перехода в основное состояние в распаде резонансов ^{147}Sm (выходной канал с $\ell = 3$) свидетельствует в пользу предположения Портера-Томаса о случайном распределении амплитуд парциальных приведенных ширин в резонансных реакциях. Согласно этому предположению, для парциальных α -ширин перехода в основное состояние ожидается распределение χ -квадрат с $\nu = 1$. Из экспериментальных данных получается $\nu_{\text{эк}} = 0,7 \pm 0,2$. Парциальные α -ширины перехода в первое возбужденное состояние (для $^{147}\text{Sm}(n, \alpha)^{144}\text{Nd}$) имеют более узкое распределение, чем для $\nu = 1$ ($\nu_{\text{эк}} = 5 \pm 2$ для резонансов с $1^{\pi} = 3^{-}$). Эти α -ширины являются суммой парциальных ширин, соответствующих трем значениям орбитального момента ($\ell = 1, 3, 5$), которые в данном эксперименте невозможно разделить. Сужение их распределения можно объяснить компенсацией независимых флуктуаций отдельных слагаемых, что сглаживает флуктуации суммы. Физически этот результат, по-видимому, означает, что распределение вылетающих α -частиц по орбитальным

моментам проходит до их вылета из ядра и в каждом резонансе по-своему. При предположении независимых и случайных флуктуаций приведенных α -ширин для отдельных ℓ ожидается, что для обсуждаемого распределения значение $\nu \approx 2$.

Интересно отметить, что переходы во второе возбужденное состояние (4^{+}) наблюдались только в двух резонансах. По-видимому, в остальных они значительно ослаблены (или отсутствуют). В то же время α -переходы в следующие состояния 3^{-} и 2^{+} (неразделенные), лежащие примерно на 200 кэв выше, проявляются по крайней мере в семи резонансах. Возможно, что это объясняется усилением перехода в состояние 3^{-} , для которого оптическая модель в этой области предсказывает максимум α -частичной силовой функции (переходы с четными значениями ℓ)^{11/}. Недавно появилась работа^{12/}, являющаяся первой попыткой связать структуру резонансных состояний ядра с парциальными ширинами α - и γ -распадов. Основываясь на предположениях этой работы и результатах настоящей, можно, по-видимому, считать, что резонансное состояние 183,7 эв отличается от других сравнительно большим вкладом простого двухквaziчастичного возбуждения типа частица - частица.

В работе^{12/} предсказывается увеличение в среднем приведенной α -ширины перехода в однофононное возбужденное состояние конечного ядра по сравнению с переходом в основное. По-видимому, первое возбужденное состояние ядра ^{144}Nd (2^{+}) является однофононным. Если не учитывать в усреднении аномальной ширины $\gamma_{\alpha_0}^2$ резонанса 183,7 эв, то наши результаты измерений согласуются с этими выводами, так как

$$\frac{\langle \gamma_{\alpha_1}^2 \rangle}{\langle \gamma_{\alpha_0}^2 \rangle} = \frac{\langle \Gamma_{\alpha_1} \rangle}{\langle \Gamma_{\alpha_0} \rangle} \frac{(P_3)_0}{(\sum_{\ell} P_{\ell})_1} \approx 3.$$

Таблица I
Полные и парциальные α - ширины резонансов

№№ ПП	E ₀ эВ	Γ_{α} МКЭВ	$\Gamma_{\alpha}^{[3]}$ МКЭВ	Γ_{α_0} МКЭВ	Γ_{α_1} МКЭВ	Γ_{α_2} МКЭВ	$\Gamma_{\alpha_{3+4}}$ МКЭВ	Спины резонанс.	
								Данная работа	Другие авторы
1.	3,4	2,5±0,3	2,5±0,3	1,08±0,16	1,14±0,17		0,19±0,06	3 ⁻	3 ⁻ /16/
2.	18,3	0,28±0,06	0,24±0,03	-	0,080±0,02	0,18±0,04		4 ⁻	4 ⁻ /17/
3.	27,1	0,34±0,11		0,057±0,025	0,13±0,05		0,08±0,03	3 ⁻	
4.	29,7	0,45±0,15	0,48±0,13	0,23±0,08	0,08±0,04		0,12±0,04	3 ⁻	3 ⁻ /16/
5.	32,1	0,36±0,14	0,16±0,06	0,011	0,24±0,1		0,05±0,03		
6.	39,7	0,25±0,04		0,01	0,10±0,02	0,10±0,02			
7.	40,6	0,43						3 ⁻	
8.	49,3	0,13±0,07	1,0±0,2						
9.	57,9	0,27±0,07	0,6±0,2		0,22±0,06		0,043±0,03		
10.	64,9	0,16±0,1							
11.	76,0	0,33							
12.	79,8	4,8							
13.	83,4	2,20±0,3	2,0±0,3	1,20±0,2	0,75±0,16		0,1±0,08	3 ⁻	
14.	102,6	1,15±0,2		0,07±0,037	0,83±0,17		0,12±0,08	3 ⁻	
15.	106,8 108,4	1,33±0,45		0,093±0,093	0,66±0,26				
16.	123,4	1,37±0,2		0,73±0,15	0,34±0,09		0,19	3 ⁻	
17.	140,0	0,67±0,28							
18.	143,3	4,6							
19.	151,3	0,70±0,2							

12

№№ ПП	E ₀ эВ	Γ_{α} МКЭВ	$\Gamma_{\alpha}^{[3]}$ МКЭВ	Γ_{α_0} МКЭВ	Γ_{α_1} МКЭВ	Γ_{α_2} МКЭВ	$\Gamma_{\alpha_{3+4}}$ МКЭВ	Спины резонансов	
								Данная работа	Другие авторы
20.	160,8 163,6	3,85±0,73		2,70±0,70	0,61±0,26			3 ⁻	
21.	183,7	15,4±1,2		14,4±2				3 ⁻	
22.	190,8	7,1±4,2							
23.	198,0	5,5							
24.	221,6 225,3	3,15±0,56		1,24±0,3	1,20±0,40			3 ⁻	

13

Однако еще мал статистический материал, чтобы сделать окончательные выводы по этому поводу.

Результаты измерений и их анализ суммированы в таблице 1. Основные результаты настоящей диссертации были опубликованы в работах ^{/5-10/}, а также доложены на конференциях:

- 1) Международная конференция по структуре ядра в Токио (1967) ^{/13/}.
- 2) Международная конференция по структуре атомного ядра в Дубне (1968) ^{/14/}.
- 3) Международная конференция по ядерным данным для реакторов в Хельсинки (1970) ^{/10/}.
- 4) Ежегодная конференция по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра в Риге ^{/15/}.

З а к л ю ч е н и е

Настоящая диссертация посвящена исследованию тонкой структуры α -распада составного ядра, образующегося после захвата резонансных нейтронов.

Создание большого ионизационного α -спектрометра позволило провести первые исследования в этом направлении.

Исследование спектров α -частиц, образующихся при распаде отдельных резонансных состояний атомных ядер, является новым направлением, позволяющим получить специфическую информацию как о структуре высоковозбужденных состояний и их спидах, так и о самом процессе α -распада.

В диссертации исследовались полные и парциальные α -ширины на изотопах ^{147}Sm и ^{145}Nd .

1) Создан большой ионизационный α -спектрометр, способный работать в интенсивных полях слабоионизирующих частиц с многослойной мишенью большой площади ($0,9\text{ м}^2$) с энергетическим разрешением $\Delta E \approx 100$ кэВ для $E_{\alpha} \approx 5$ МэВ.

2) Получены значения парциальных и полных α -ширин для ^{147}Sm и ^{145}Nd .

3) Получены спины двенадцати уровней составного ядра ^{148}Sm .

4) Полученные экспериментальные распределения парциальных α -ширин сравниваются с предсказаниями статистической теории. На основании такого сравнения получены сведения о формировании α -частиц с различными орбитальными моментами на поверхности ядер.

5) Показано, что распределения полных α -ширин для резонансов ^{147}Sm и ожидаемые распределения этих ширин на основании расчетов по статистической теории удовлетворительно совпадают.

6) Делается попытка на основании предположений работы ^{/12/} получить сведения о структуре резонансных состояний ядра ^{148}Sm .

Л и т е р а т у р а

1. J. Kvittek, Yu. P. Popov. Phys. Lett., 22, 186 (1966).
2. И. Квиттек, Ю. П. Попов. Письма в ЖЭТФ, 5, 365 (1967).
3. И. Квиттек, Ю. П. Попов. Препринт ОИЯИ РЗ-4982, Дубна, 1970.
4. N. S. Oakey, R. D. Macfarlane. Phys. Lett., 24B, 142 (1967).
5. И. Квиттек, Е. И. Нечаева, Ю. П. Попов, И. Рибански, Р. Ф. Руми, М. Стэмпиньски. Препринт ОИЯИ РЗ-3904, Дубна, 1968.
6. Ю. П. Попов, М. Стэмпиньски. ПТЭ, 6, 49 (1969).

7. Ю.П. Попов, М. Пшитула, К.Г. Родионов, Р.Ф. Руми, М. Стэмпиньски, В.И. Фурман. Препринт ОИЯИ РЗ-5073, Дубна, 1970.
8. Ю.П. Попов, М. Стэмпиньски. Письма в ЖЭТФ 7, 126 (1968).
9. И. Вильгельм, Ю.П. Попов, М. Пшитула, Р.Ф. Руми, М. Стэмпиньски. Препринт ОИЯИ РЗ-5553, Дубна, 1970.
10. Ю.П. Попов, М. Пшитула, Р.Ф. Руми, М. Стэмпиньски, М. Флорек, В.И. Фурман, Conf. Nuclear Data for Reactors, vol. I, p. 669 (1970).
11. А.А. Мартынов, Ю.П. Попов, В.И. Фурман. Тезисы докл. XX конф. по ядерн. спектроскоп. и структ. атомн. ядра (1970).
12. V.G. Soloviev, JINR E4-5135, Dubna (1970).
13. Yu.P. Popov, J. Kvitek, M. Stempinsky, Contributions International Conference on Nuclear Structure, p. 331, Tokyo, Japan (1967).
14. F.L. Shapiro. Symposium Nuclear Structure, Dubna, 1968.
15. Ю.П. Попов, М. Стэмпиньски. Известия АН СССР т. XXXII, №12, сер. физ., 1968.
16. M.D. Goldberg, S.F. Mughabghab, S.N. Purohit et al., ENL-325, Second edition, Supplement 2, vol. II B and C (1966).
17. F. Poortmans, H. Ceulemans. Conf. on Study of Nucl. Structure with Neutrons, Antwerp. 1965.

Рукопись поступила в издательский отдел
3 мая 1971 года.