

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



К-806

2751/2-76

19/vii-76

P6 - 9711

Т.Крецу, В.В.Кузнецов, Г.И.Лизурей, Г.Макарие,
М.Фингер

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЛОШНЫХ БЕТА-СПЕКТРОВ
ПО ПРОГРАММЕ ЯСНАПП

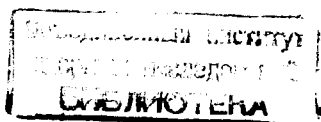
1976

P6 - 9711

Т.Крецу, В.В.Кузнецов, Г.И.Лизурей, Г.Макарие,
М.Фингер

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЛОШНЫХ БЕТА-СПЕКТРОВ
ПО ПРОГРАММЕ ЯСНАПП

Направлено в "Чехословацкий физический журнал"



Крещу Т., Кузнецов В.В., Лизурей Г.И., Макарие Г., Р6 - 9711
Фингер М.

Исследование сплошных бета-спектров по программе ЯСНАПП

В работе рассматриваются основные физические вопросы, связанные с бета-распадом ядер. Приведены экспериментальные результаты, полученные при исследовании позитронных спектров следующих нейтронно-дефицитных изотопов: ^{126}Cs , ^{128}Cs , ^{148}Tb , ^{150}Tb , ^{152}Tb , ^{153}Tb , ^{153}Dy , ^{167}Yb , ^{169}Lu , ^{170}Lu , ^{171}Lu . Измерения проводились с масс-сепарированными источниками на тороидальном безжелезном спектрометре типа "Апельсин" и магнитном бета-спектрометре с двукратной двойной фокусировкой на угол $\pi\sqrt{2}$.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований
Дубна 1976

Cretu T., Kuznetsov V.V., Luzurej G., Р6 - 9711
Macarie G., Finger M.

Beta-Spectra Investigation by the YSNAPP
Programme

The main physical problems of nuclear beta-decay are considered in this paper. The experimental results are presented of positron-spectra investigations for neutron-deficient isotopes ^{126}Cs , ^{128}Cs , ^{148}Tb , ^{150}Tb , ^{152}Tb , ^{153}Tb , ^{153}Dy , ^{167}Yb , ^{169}Lu , ^{170}Lu , ^{171}Lu . The measurements have been performed by the ion-free beta-spectrometer with toroidal magnetic field and by the beta-spectrometer with the double-focusing magnetic field at $\pi\sqrt{2}$ angle.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research

Dubna 1976

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Исследование бета-распада ядер интересно с точки зрения нашего понимания слабых взаимодействий. Ряд экспериментальных исследований, связанных с бета-распадом нейтрона^{1/} и с исследованием угловых корреляций направлений электрон - нейтрино^{2/} подтверждают теоретическое представление V-A взаимодействия при бета-распаде. В действительности, анализ существующих экспериментальных данных^{3/} показывает, что с большой степенью достоверности эти данные согласуются с V-A вариантом теории. Однако пока трудно утверждать об отсутствии вклада других видов взаимодействий при бета-распаде^{4/}. Это связано с тем, что в ряде случаев трудно достигнуть необходимой точности эксперимента. В настоящее время принято считать взаимодействие Ферми чисто векторным, а взаимодействие Гамова-Теллера - чисто аксиально-векторным взаимодействием. На основе V-A варианта взаимодействия было развито теоретическое представление^{5,6/} для расчета переходов, наблюдаемых при бета-распаде ядер.

Формализм расчета бета-переходов, основанный на одночастичной модели ядра, был применен для расчета бета-переходов в ядрах деформированной области^{7,8/}. Обычно при таких расчетах вводятся поправки для учета влияния парных корреляций сверхпроводящего типа на вероятности бета-переходов^{9-11/}. Естественно, сравнение экспериментальных данных с проведенными расчетами весьма ценно. Сравнение рассчитанных матричных элементов с феноменологическими /полученными из эксперимента/ матричными элементами может дать ответ

на вопросы, связанные с теорией бета-распада и правильностью выбора ядерных состояний, между которыми имеет место бета-переход. В работе^{/12/} наиболее полно разработана техника извлечения численного значения матричных элементов из анализа экспериментальных данных по бета-распаду. Из экспериментальных данных по величине ft , по форме бета-спектра, по коэффициентам β - γ -корреляций направлений, по наблюдению поляризационных эффектов можно определить ядерные матричные элементы конкретных бета-переходов. Определение интенсивности /в процентах на распад/ и граничной энергии сплошного бета-спектра позволяет определить значение $\log ft$ для данного бета-перехода^{/13/}.

По величине значения $\log ft$ можно сказать о степени запрета бета-перехода и сделать иногда заключение о ядерных характеристиках начального и конечного состояний ядер.

Отклонение полученного спектра от статистического распределения получается обычно из экспериментального фактора формы^{/14/}

$$C_{\text{эксп}}(E) = \frac{N(E)}{E_p F(E, Z)(E_0 - E)^2} \quad /1/$$

Принято считать, что матричный элемент для бета-перехода не зависит от энергии в том случае, если функция

$$f(E) = \left(\frac{N(E)}{E_p F(E, Z)} \right)^{1/2}$$

является прямой, пересекающей ось энергии в точке $E = E_0$. Существует ряд работ по определению фактора формы $C_{\text{эксп}}(E)$, в которых проводятся оценки возможного отклонения формы спектра от статистического распределения. Это отклонение принято характеризовать так называемым фактором Фирца, и обычно выражают в виде b/E , где

$$b = (G_S G_V + G_S' G_V') |M_F|^2 + (G_T G_A + G_T' G_A') |M_{GT}|^2 \quad /2/$$

Результаты работы^{/15/} дают значения $G_S/G_V = /-0,001 \pm 0,006/$ и $G_T/G_A = /-0,0004 \pm 0,0003/$, которые позволяют сделать заключение об отсутствии этого откло-

нения и, соответственно, о нулевом значении фактора Фирца. Нулевое значение этого фактора, однако, не исключает возможный вклад S-T взаимодействия при бета-распаде. При равенстве $G_S' = -G_S$ и $G_T' = -G_T$ в уравнении /2/ значение $b = 0$. В этом случае о вкладе G_S и G_T нельзя судить по виду экспериментального фактора формы $C_{\text{эксп}}(E)$. Следует обратить внимание на то, что в ряде случаев при исследовании бета-распада ядер наблюдаются большие разногласия в определении фактора формы $C_{\text{эксп}}(E)$ ^{/16-19/}. Эти разногласия можно, по-видимому, устранить путем совершенствования экспериментальной методики и повышения точности эксперимента.

С другой стороны, представляется интересным исследовать фактор формы $C_{\text{эксп}}(E)$ для β^+ -распада. В последнем случае, как правило, вероятность β^+ -перехода мала по сравнению с электронным захватом. При исследовании интенсивности спектров позитронов и конверсионных электронов в аналогичных условиях можно определить значение величины ϵ'/β^+ с хорошей точностью. Например, для бета-распада ^{22}Na и ^{58}Co величина ϵ'/β^+ определена с точностью около 0,7%.

Наблюдение отклонения ϵ'/β^+ от $\epsilon'/\beta^+_{\text{теор}}$ в последнее время предъявляет повышенные требования к точности эксперимента. В работе²⁵ для объяснения наблюдаемых отклонений ϵ'/β^+ от $\epsilon'/\beta^+_{\text{теор}}$ рассматривается возможное влияние тензорных токов при бета-распаде. В одной из работ²⁶ для объяснения отклонений теоретических и экспериментальных отношений K'/β^+ вводится так называемый фактор Фирца. С другой стороны, авторы работы²⁷ доказывают, что из полученных соотношений K'/β^+ или ϵ'/β^+ нельзя получить сведения о тензорном характере взаимодействия при бета-распаде.

На основании вышеизложенного перед нами стояли задачи исследования ряда проблем, связанных с β -распадом конкретных ядер. Измерение граничной энергии и интенсивности β -переходов позволяет нам судить о природе уровней, между которыми имеют место β -пе-

переходы. Экспериментальное определение разности масс Q_{β} ядер с хорошей точностью позволит проверить правильность теоретических расчетов разности масс ^{128-33/}.

Как показано в работе К.Я.Громова и др. ^{34/}, расхождения экспериментальных и рассчитанных значений разностей масс особенно велики для ядер, удаленных от полосы β -стабильности. Следовательно, получение информации о массах этих ядер очень важно. Получение граничной энергии с хорошей точностью при измерении β -спектров позволяет, кроме определения разности масс, провести сравнение теоретических и экспериментальных значений ϵ/β^+ , которые, как известно, сильно зависят от энергии перехода.

Ниже приведены экспериментальные данные по исследованию сплошных спектров позитронов ряда ядер.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В отделе ядерной спектроскопии и радиохимии Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований /ЛЯП ОИЯИ/ имеются магнитные бета-спектрометры: бета-спектрометр с двойной двукратной фокусировкой пучка электронов на угол $\pi\sqrt{2}$ ^{35/} / $R \leq 0,2\%$, $T \approx 0,2\%$ / и светосильный безжелезный бета-спектрометр с тороидальным магнитным полем ^{36/} /при $T \approx 20\%$ обеспечивается $R = 1,2\%$ /.

С помощью этих бета-спектрометров можно исследовать позитронный распад радиоактивных ядер с хорошей надежностью и достоверностью при наличии радиоактивных препаратов с достаточно высокой удельной активностью. Радиоактивные изотопы получались в реакциях глубокого расщепления лантана и тантала протонами с $E_p = 660$ МэВ. Получение тонких источников осуществлялось с помощью химических методов и разделением на масс-сепараторах ЛЯП ОИЯИ. Использование этих магнитных приборов для исследования сплошных спектров позитронов весьма полезно в сочетании. Бета-

спектрометр с тороидальным магнитным полем (βI) позволяет на данном этапе проводить исследования спектров позитронов в области энергий меньше 1000 кэВ и с хорошей эффективностью регистрации электронов /позитронов/ с $E_{\beta} > 100$ кэВ. Бета-спектрометр с двойной двукратной фокусировкой пучка электронов /позитронов/ на угол $\pi\sqrt{2}$ (βII) позволяет проводить исследование позитронов в области энергий больше 1000 кэВ с потерей эффективности регистрации электронов /позитронов/ с $E_{\beta} < 1000$ кэВ.

Распад ¹²⁶Cs и ¹²⁸Cs ^{37/}. Исследовались позитроны, сопровождающие распад ¹²⁶Cs $1,6$ мин и ¹²⁸Cs $3,7$ мин ^{38/} ¹²⁸Cs. Радиоактивные изотопы ¹²⁶Cs и ¹²⁸Cs находились в равновесии с материнскими изотопами ¹²⁶Ba / $T_{1/2} = 97$ мин / и ¹²⁸Ba / $T_{1/2} = 2,4$ дня / . Измерение спектров позитронов проводилось с помощью бета-спектрометра βII . Полученные значения граничных энергий позитронов при распаде ¹²⁸Cs в основное и первое возбужденное состояния ¹²⁸Xe соответственно равны /2906 \pm 6/ и /2470 \pm 40/ кэВ с соотношением интенсивностей компонентов позитронов

$$J_{\beta^+ 2906} / J_{\beta^+ 2470} \approx 3,2 \quad \text{и} \quad J_{K 442,8} / J_{\beta^+ \text{полн}} = (4,0 \pm 0,3) \cdot 10^{-3}.$$

Разность масс атомов ¹²⁸Cs - ¹²⁸Xe равна $Q_{\beta} = /3928 \pm 6/$ кэВ. Определено значение граничной энергии позитронов, сопровождающих распад ¹²⁶Cs. Значение $E_{\text{гр}} \beta^+ = /3808 \pm 140/$ кэВ.

Распад ¹⁴⁸Tb ^{38/}. С помощью бета-спектрометра βII исследовался спектр позитронов при распаде ¹⁴⁸Tb / $T_{1/2} = 66$ мин / . Получены три компонента позитронов с граничными энергиями /4610 \pm 80/, /3840 \pm 150/ и /2730 \pm 300/ кэВ с соотношением интенсивностей $J_{\beta^+ 3840} / J_{\beta^+ 4610} = 0,47$, $J_{\beta^+ 2730} / J_{\beta^+ 4610} = 0,75$ и $J_{K 783,4} / J_{\beta^+ 4610} = 0,1$. Разность масс Q_{β} атомов ¹⁴⁸Tb - ¹⁴⁸Gd равна /5630 \pm 80/ кэВ.

Распад $^{150}\text{Tb}^{39}$. Изучались позитроны, возникающие при распаде $^{150}\text{Tb} / T_{1/2} = 3,48$ ч/ с помощью бета-спектрометра βII . Анализ спектра позитронов позволил определить шесть компонентов с $E_{\text{гр}}\beta^+$, равными $/3650\pm 15/$, $/3000\pm 100/$, $/2380\pm 100/$, $/1720\pm 100/$, $/1200\pm 100/$ и $/990\pm 100/$ кэВ с соотношением интенсивностей 1:0,33:0,22:0,19:0,16:0,10, соответственно. Отношение интенсивностей конверсионных электронов $K638,2$ кэВ к интенсивности компонента позитронов, заселяющих основное состояние ^{150}Gd , определено равным $1,85 \cdot 10^{-1}$. Полученные данные позволили определить разность масс атомов $^{150}\text{Tb} - ^{150}\text{Gd}$ $Q_{\beta} = /4670\pm 15/$ кэВ.

Распад $^{152}\text{Tb}^{40}$. С помощью бета-спектрометра βII исследовались позитроны при распаде $^{152}\text{Tb} / T_{1/2} = 17,5$ ч/. Определено пять компонентов позитронов, идущих на основное и возбужденные состояния ^{152}Gd с $E_{\text{гр}}\beta^+$ $/2830\pm 15/$, $/1910\pm 40/$, $/1500\pm 40/$, $/1200\pm 150/$ и $/890\pm 150/$ кэВ с соотношением интенсивностей 1:0,41:0,18:0,09:0,09 соответственно. Отношение интенсивности конверсионных электронов $K1047,9$ кэВ к интенсивности компонента, идущего в основное состояние ^{152}Gd , определено равным $2,1 \cdot 10^{-2}$. Разность масс $^{152}\text{Tb} - ^{152}\text{Gd}$ составляет $Q_{\beta} = /3850\pm 15/$ кэВ.

Распад $^{153}\text{Tb}^{41}$. С помощью бета-спектрометра βI исследован спектр позитронов, сопровождающих распад ^{153}Tb . Интенсивность позитронов составляет $/0,040\pm 0,015/$ % на распад ^{153}Tb . Наблюдено два компонента с $E_{\text{гр}}\beta^+$ = $/580\pm 20/$ и $/350\pm 40/$ кэВ с соотношением интенсивностей 1:3,8 соответственно. Утверждается, что позитронный распад идет в основное и возбужденное состояния - 0 кэВ $/3/2^-/$ и $212,04$ кэВ $/3/2^+ /$. Определенное значение $K/\beta^+ = 1270_{-480}^{+1440}$ для уровня $212,04$ кэВ согласуется с теоретическим значением $K/\beta^+ = 1200^{14}$. Из значения $K/\beta^+ = 150^{14}$ для перехода в основное состояние ^{153}Gd получена величина заселения этого состояния ϵ -захватом $/2,0\pm 0,8/$ % и значение $\log ft = /8,20\pm 0,15/$. Разность масс $^{153}\text{Tb} - ^{153}\text{Gd}$ составляет $/1600\pm 20/$ кэВ.

Распад $^{153}\text{Dy}^{42}$. При распаде ^{153}Dy измерен спектр позитронов с помощью бета-спектрометра βI . Наблюдено три компонента с $E_{\text{гр}}\beta^+$ = $/1064\pm 17/$, $/887\pm 3/$ и $/471\pm 35/$ кэВ. При условии, что позитроны с $E_{\text{гр}} = /887\pm 3/$ кэВ заселяют уровень $262,8$ кэВ, определена разность масс $^{153}\text{Dy} - ^{153}\text{Tb}$, равная $Q_{\beta} = /2172\pm 3/$ кэВ. Из соотношения $J_{\beta^+ 887} / J_{K 254,2} = /0,58\pm 0,06/$, $J_{\beta^+ 1064} / J_{K 254,2} = /0,22\pm 0,06/$ и $J_{\beta^+ 471} / J_{K 254,2} = /0,07\pm 0,05/$ рассчитана интенсивность позитронов в процентах на распад ^{153}Dy : $J_{\beta^+ \text{полн}} = /1,24\pm 0,27/$ %, $J_{\beta^+ 887} = /0,83\pm 0,11/$ %, $J_{\beta^+ 1064} = /0,31\pm 0,09/$ % и $J_{\beta^+ 471} = /0,19\pm 0,07/$ %. При этом из работы 43 принималось, что $J_{K 254,2}$ составляет $/1,42\pm 0,14/$ % на распад ^{153}Dy .

Распад $^{167}\text{Yb}^{44}$. Позитроны при распаде ^{167}Yb были обнаружены в работе 45 в 1964 году. Была определена их граничная энергия $/650\pm 30/$ кэВ и интенсивность 0,4% на распад ^{167}Yb . В нашем случае использовался препарат лютеция, химически выделенный из танталовой мишени, облученной протонами с $E_p = 660$ МэВ. В измеренном с помощью бета-спектрометра βI позитронном спектре преобладали позитроны ^{167}Yb , вклад позитронов $^{167}\text{Lu} / T_{1/2} = 55$ мин/, находящегося в равновесии с ^{167}Yb и позитронов долгоживущих изотопов лютеция с $A = 169, 170$ и 171 учитывался. Полученный спектр позитронов ^{167}Yb очень хорошо описывается графиком Ферми-Кюри в области энергий позитронов > 100 кэВ. Определена граничная энергия позитронов $^{167}\text{Yb} - E_{1p} = /639 \pm 4/$ кэВ и отношение интенсивностей $J_{\beta^+ 639} / J_{K 116,6} = 0,36\pm 0,04$. Используя результаты исследования схемы распада $^{167}\text{Yb}^{46}$, мы нашли интенсивность позитронов $J_{\beta^+ 639} = /0,49\pm 0,12/$ % на распад ^{167}Yb . Из работы 46 следует, что позитронный распад происходит на уровень $292,8$ кэВ ^{167}Tm и что разность масс $^{167}\text{Yb} - ^{167}\text{Tm}$ тогда равна $Q_{\beta} = /1954\pm 4/$ кэВ. Экспериментальное значение $\log ft$ для $\alpha\text{u} - \beta$ -перехода $n 5/2^- / 523/ \rightarrow p 7/2^- / 523/$ при распаде ^{167}Yb на уровень $292,8$ кэВ ^{167}Tm оказывается равным $\log ft = 4,45\pm 0,10$.

Распад ^{169}Lu и ^{170}Lu ^{47/}. С помощью бета-спектрометра βII исследовались спектры позитронов, возникающих при распаде ^{169}Lu / $T_{1/2} = 36$ ч / и ^{170}Lu / $T_{1/2} = 48$ ч / . В случае ^{169}Lu граничные энергии полученных компонентов спектра равны / 1270 ± 10 / и / 760 ± 90 / кэВ. Их относительные интенсивности $J_{\beta^+ 1270} / J_{\beta^+ 760} = 4:1$. Интенсивность конверсионных электронов $K 960,2$ кэВ по отношению к полной интенсивности позитронов равна / $3,2 \pm 0,3 \cdot 10^{-2}$ / . Граничная энергия жесткого компонента позитронов ^{170}Lu получена равной / 2380 ± 60 / кэВ. Отношение интенсивности конверсионных электронов $K 1450,1$ кэВ к интенсивности позитронов ^{170}Lu равно / $2,0 \pm 0,2 \cdot 10^{-1}$ / . На основе данных работ ^{48, 49/} определены интенсивности позитронов в процентах на распад: $^{169}\text{Lu} - 1,1 \pm 0,3\%$, $^{170}\text{Lu} - 0,2 \pm 0,1\%$.

Распад ^{171}Lu ^{50, 51/}. Среди разрешенных бета-переходов существует группа интересных случаев, для которых очень велико значение $\log ft$. Среднее значение величины $\log ft$ для разрешенных переходов равно $3,5 \div 5,5$. Однако в ряде случаев для сильно заторможенных разрешенных переходов $\log ft$ лежит в пределах от 6,0 до 10,8.

Увеличение $\log ft$, по-видимому, связано с влиянием структурных эффектов ядерных уровней. Наряду с уменьшением величины ядерных матричных элементов для разрешенных переходов в таких случаях могут оказываться также возможные примеси ядерных матричных элементов бета-переходов второго порядка запрещения.

С помощью бета-спектрометра (βI) проводились исследования спектра позитронов ^{171}Lu . Для определения доли позитронов на распад ^{171}Lu измерялись К-конверсионные электроны с энергией 739,62 и 667,35 кэВ. Кроме этого, прослеживался спад интенсивности позитронов во времени в течение 10 дней / $T_{1/2} \approx 8$ дн / .

Определена $E_{\text{гр}} \beta^+$ равной / 362 ± 3 / кэВ. При условии, что позитроны заселяют состояние ^{171}Yb с энергией 95,255 кэВ $7/2^+ / 633/$, разность масс $^{171}\text{Lu} - ^{171}\text{Yb}$ составляет $Q_{\beta} = 1479 \pm 3$ кэВ.

Из наблюдаемого соотношения $J_{\beta^+} : J_{K739} = 0,074 \pm 0,06$ рассчитана интенсивность позитронов на распад: ^{171}Lu ; $J_{\beta^+} = 8,0 \pm 1,1 \cdot 10^{-5}$. При этом из данных работы ^{52/} принималось, что интенсивность J_{K739} составляет / $0,10 \pm 0,01\%$ / на распад ^{171}Lu . Из теоретического значения $\epsilon / \beta^+ = 2370 \pm 70$ ^{14/} для бета-перехода на возбужденное состояние ^{171}Yb с энергией 95,255 кэВ получена величина заселения этого уровня ϵ -захватом / $19,0 \pm 2,1\%$ / и значение $\log ft = 8,1 \pm 0,1$. Это значение хорошо согласуется с данными работы ^{53/}.

Расчеты матричных элементов с применением волновых функций Соловьева, Гареева ^{54/} с использованием потенциалов Вудса-Саксона для бета-перехода $7/2^+ / 404/ \rightarrow 7/2^+ / 633/$ дали величину $\log ft = 7,99$ при $\beta_2 = 0,26$ и $\beta_4 = -0,02$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б.Г.Ерозолимский. УФН, т. 16, вып. 1, 145 /1975/.
2. J.Allen. Rev.Mod.Phys., 31, 795 /1959/.
3. A.Kroppf, H.Paul. Z.Phys., 269, 129 /1974/.
4. С.Де Бенедетти, в кн. "Ядерные взаимодействия", гл. 8, Атомиздат, Москва, 1968.
5. H.Behrens, J.Jänecke. Landolt-Börstein, New Series, v. 1/4 (Springer Verlag, Berlin), New York, Heidelberg, 1969.
6. H.Behrens, W.Bühring. Nucl.Phys., A162, 111 /1971/.
7. D.Bogdan, Tr.Cretu, G.Macarie. Z.Phys., 263 121 /1973/.
8. D.Bogdan, Tr.Cretu, G.Macarie. Z.Phys., 265, 385 /1973/.
9. В.Г.Соловьев, в кн. "Влияние парных корреляций сверхпроводящего типа на свойства атомных ядер", Атомиздат, 1963.
10. В.Г.Соловьев, в кн. "Теория сложных ядер", Изд. "Наука", М., 1971.
11. V.G.Soloviev. Mat. Fys. Medd. Dan. Vid. Selsk., 1, No. 11 /1961/.
12. J.C.Manthuruthil, C.P.Poirier. Nucl.Phys., A118, 657 /1968/.
13. D.Strominger, J.N.Hollander, G.T.Seaborg. Rev. Mod.Phys., v. 30, No. 2, part 2, 589 /1958/.

14. Б.С.Джелепов, Л.Н.Зырянова, Ю.П.Суслов, в кн. "Бета-процессы", Наука, Ленинград, 1972.
15. H. Paul. Nucl. Phys., A154, 154 /1970/.
16. E. H. Spejewski. Nucl. Phys., 82, 481 /1966/.
17. S. André, P. Depommier, P. Liaud, J. C. Millies-Lacroix. Compt. Rend., 264, 819 /1967/.
18. F. Greverie, G. Ambrosino. Compt. Rend., 264, 651 /1967/.
19. S. Y. Van der Werf, H. de Waard, H. Beckhuis. Nucl. Phys., A134, 215 /1969/.
20. E. Vatai, D. Vorga, J. Uchirin. Nucl. Phys., A116, 637 /1968/.
21. A. Williams, Nucl. Phys., A153, 665 /1970/.
22. M. L. Fitzpatrick, K. W. D. Ledingham, J. Y. Synchron, J. Y. Gourlay. J. Phys., 6, 713 /1973/.
23. K. W. D. Ledingham, J. Y. Gourlay, M. Cambell, M. L. Fitzpatrick, A. D. Boillie. Phys. Lett., 80B, 2, 247 /1974/.
24. R. B. Firestone, R. A. Warner, W. C. McHarris, W. H. Kelley, Phys. Rev. Lett., 35, 713 /1975/.
25. D. H. Wilkinson. Phys. Lett., 31B, 447 /1970/.
26. Ю.П.Суслов. Изв. АН СССР, сер. физ., 37, 77 /1973/.
27. H. Behrens, W. Bühring. Nucl. Phys., A232, 230 /1974/.
28. M. Hillman. BNL-846 (T-33), 1964.
29. A. C. W. Cameron. CRP-690, Chalk River /1957/.
30. J. Wing, J. D. Veoley. ANL-6886 /1964/.
31. W. D. Myers, W. J. Swiatecki. UCRL-11980, 1965.
32. P. A. Seeger. Int. Conf. on the Properties of Nuclei Far from the Region of Beta-Stability, CERN 70-30, 1, Geneva, 1970, p. 271.
33. G. T. Garvey, W. F. Gerace, R. L. Jaffe, J. Halmi, T. Kelson. Rev. Mod. Phys., 41, 4 /1969/.
34. К.Я.Громов, Х.-У.Зиберт, В.Г.Калинников, Г.Музиоль, Х.Штрусный. ЭЧАЯ, вып. 4, 971 /1975/.
35. J. Adam et al. JINR, E-2494, Dubna, 1965.
36. М.Гасиор, К.Я.Громов и др. ОИЯИ, Дб-7094, 167, Дубна, 1973.
37. М.Гонусек, П.М.Гопыч, А.Караходжаев, А.Ф.Новгородов, М.Фингер, А.Ясински, М.Яхим. ОИЯИ, Дб-7094, стр. 100, Дубна, 1973.
38. Л.Пюшек, М.Фингер, А.Ф.Щусь. Программа и тезисы докладов XXV совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, "Наука", Л., 107, 1975.
39. Я.Конишек, Л.Пюшек, М.Фингер, А.Ф.Щусь. Там же, стр. 109.
40. М.Гонусек, И.И.Громова, М.Фингер, А.Ф.Щусь. Там же, стр. 110.
41. Ц.Вылов, К.Я.Громов, В.В.Кузнецов, В.С.Александров, А.Ш.Хамидов. Там же, стр. 113.

42. М.Гасиор, И.И.Громова, Т.Крецу, В.В.Кузнецов, Н.А.Лебедев, Г.И.Лизурей, Г.Макарие, Д.Мончка. Тезисы докладов XXVI совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. "Наука", 110, Баку, 1976.
43. К.Зубер, Ц.Вылов, И.И.Громова, Я.Зубер, Х.-Г.Ортлепп, Н.А.Лебедев, ОИЯИ, Рб-8669, Дубна, 1975.
44. М.Гасиор, К.Громов, Т.Крецу, В.Кузнецов, Г.Лизурей, Н.Лебедев, Г.Макарие. Тезисы докладов XXVI совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. "Наука", 117, Баку, 1976.
45. Ван Чуань Пэн и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 28, 252 /1964/.
46. А.А.Абдуразаков и др. ОИЯИ, Еб-4782, Дубна, 1969.
47. Н.А.Бонч-Осмоловская, Я.Конишек, М.Фингер, Й.Ференчек, А.Ф.Щусь. ОИЯИ, Дб-8846, стр. 134, Дубна, 1975.
48. Н.А.Бонч-Осмоловская и др. ОИЯИ, Рб-6649, Дубна, 1972.
49. Н.А.Бонч-Осмоловская и др. ОИЯИ, Рб-4773, Дубна, 1969.
50. М.Гасиор, В.В.Кузнецов, Г.И.Лизурей, Г.Макарие, В.М.Горожанкин, А.Ш.Хамидов. ОИЯИ, Дб-8846, 136, Дубна, 1975.
51. Д.Богдан, М.Гасиор, Т.Крецу, В.В.Кузнецов, Н.А.Лебедев, Г.И.Лизурей, Г.Макарие, Д.Г.Попеску. Тезисы докладов XXVI совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, "Наука", стр. 122, Баку, 1976.
52. Н.А.Бонч-Осмоловская и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 38, 2516, 1974.
53. К.П.Артамонова, Е.П.Григорьев, А.В.Золотавин, В.О.Сергеев. Изв. АН СССР, сер. физ., 39, 523 /1975/.
54. Ф.А.Гареев, В.Г.Соловьев и др. ЭЧАЯ, 4, вып. 2, 357, 1973.

Рукопись поступила в издательский отдел
13 апреля 1976 года.