

T- 647

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

6 - 8062

ТОШЕВ Муриддин

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВОЗБУЖДЕННЫХ
СОСТОЯНИЙ АТОМНЫХ ЯДЕР, БЛИЗКИХ
К МАГИЧЕСКОМУ $N=50$

Специальность 01.04.16-физика атомного
ядра и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1974

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем
Объединенного института ядерных исследований, г.Дубна.

Научные руководители:

доктор физико-математических наук, профессор А.А.АБДУРАЗАКОВ,
(Таш.ГУ)

кандидат физико-математических наук Я.ЛИПТАК,
(ОИЯИ)

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук Е.П.ГРИГОРЬЕВ,
(ЛГУ)

кандидат физико-математических наук, доцент Р.Х.САФАРОВ,
(Сам.ГУ)

Ведущее научно-исследовательское учреждение:
Институт ядерной физики АН Уз.ССР.

Автореферат разослан " " _____ 1974 года
Защита диссертации состоится " " _____ 1974 года в _____ час.
на заседании Совета по присуждению ученых степеней физического
факультета Ташкентского ордена Трудового Красного Знамени
государственного университета им.В.И.Ленина (г.Ташкент, ГСП,
Бузгородок, Таш.ГУ, физический факультет, ауд.215).

Отзывы о диссертации просим направлять по адресу: 700095
г.Ташкент ГСП, Бузгородок, Таш.ГУ им.В.И.Ленина, главный корпус,
ученому секретарю.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Таш.ГУ.

Ученый секретарь Совета
доцент

РЕВЗИН Л.С.

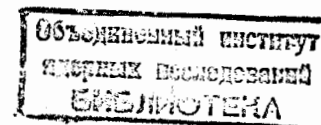
6 - 8062

ТОШЕВ Мухиддин

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВОЗБУЖДЕННЫХ
СОСТОЯНИЙ АТОМНЫХ ЯДЕР, БЛИЗКИХ
К МАГИЧЕСКОМУ N=50

Специальность 01.04.16-физика атомного
ядра и космических лучей
Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)



Изучение ядер стронция (Sr) и циркония (Zr), расположенных вблизи магического $N=50$ представляет большой интерес с точки зрения развития различных современных моделей, привлекаемых для объяснения свойств основных и возбужденных состояний сферических ядер. Принято считать, что эти ядра имеют равновесную сферическую форму (по крайней мере, в основном состоянии). Изучение этой области ядер расширяет пределы ядерно-спектроскопических исследований, проведенных в течение многих лет на базе синхротрона ОИЯИ^[1], и является частью работ, выполняемых по программе ЯСНАПП (ядерная спектроскопия на протонном пучке)^[2,3].

Настоящая работа посвящена исследованию методами ядерной спектроскопии свойств ядер $^{83}_{38}Sr_{45}$, $^{87}_{40}Zr_{47}$, $^{89}_{40}Zr_{49}$ и $^{88}_{40}Zr_{48}$, состояния которых возбуждаются при бета-распаде изомерных и основных состояний изотопов $^{83}_{39}Y_{44}$, $^{87}_{41}Nb_{46}$, $^{89}_{41}Nb_{48}$ и $^{88}_{41}Nb_{47}$, соответственно.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения.

В первой главе рассматриваются методические вопросы эксперимента. Показаны способы получения радиоактивных источников для проведения исследований и кратко описаны использованные в работе аппаратура и методы обработки экспериментальных результатов.

Радиоактивный источник ^{83}Y получался двумя путями:

а) в реакции $^{75}As(^{12}C, 4n)^{83}Y$, при облучении мишени As_2S_3 ионами ^{12}C с энергией 73 Мэв ($I_{^{12}C} = 2 \cdot 10^{11}$ част./сек), на выведенном пучке тяжелых ионов Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ;

б) в реакции глубокого расщепления, при облучении мишени Мо протонами с энергией 660 Мэв ($I_p = 4 \cdot 10^{11}$ р/сек), на выведенном пучке синхроциклотрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ, с последующим разделением по изобарам на электромагнитном масс-сепараторе.

Изотопы ^{87}Nb , ^{88}Nb и ^{89}Nb получались в реакции глубокого расщепления серебра протонами ($E = 660$ Мэв) на выведенном пучке синхроциклотрона. Изотопы ниобия из материала мишени разделялись (за 3 - 3,5 мин) методом газовой термохроматографии [4]. Доставка мишени на выведенный пучок протонов синхроциклотрона и обратно из пучка в радиохимическую лабораторию осуществлялось с помощью пневмопочты.

Измерения спектров гамма-лучей проводились на гамма-спектрометрах с Ge(Li) -детекторами (чувствительные объемы - 0,5, 2,4, 10, 13, 38, 41 и 47 см³, энергетические разрешения - 1,5, 1,5, 3,5, 4,5, 4,2, 3 и 2,3 кэв при энергии 1335 кэв ^{60}Co , соответственно).

Измерение спектра конверсионных электронов проводилось на безжелезном бета-спектрометре с тороидальным магнитным полем [5] (разрешение 0,4% при трансмиссии 7%).

Спектр позитронных излучений изучался при помощи бета-спектрометра с Si(Li) -детектором (толщина чувствительного слоя Si(Li) -детектора 15 мм, площадь - 100 мм²).

Измерения спектров β - β -совпадений проводились с помощью Ge(Li) -детекторов с объемами 27 и 41 см³. Разрешающее время спектрометра составляло 50 нсек.

Во второй главе приводятся результаты исследования свойств возбужденных состояний ядер ^{83}Sr , ^{87}Zr и ^{89}Zr .

1. Распад $^{83\text{m}}\text{Y}$ (5,5 мин) и ^{83}Y (7,4 мин).

Исследован спектр гамма-лучей ^{83}Y , обнаружено 42 β -перехода, 41 из которых является новым. Уточнен период полураспада $^{83\text{m}}\text{Y}$ ($T_{1/2} = 5.5 \pm 0.5$ мин). Предлагается схема распада $^{83\text{m}}\text{Y}$ и ^{83}Y (рис.1.).

В схеме введены новые уровни с энергиями 35,3 (9/2+), 489,8, 653,5, 717,2, 743,2, 825,9, 835,0, 881,6, 893,6, 951,3, 962,2, 1238,0, 1370,9, 1433,2, 1498,1 и 1914,6 кэв и уточнены энергии ранее известных уровней [6]. Определены доли β^+ -распада и ϵ -захвата на основное и возбужденные состояния ^{83}Sr и вычислены значения $\lg ft$.

Уровни с энергиями 35,3 (9/2+), 259,4 (1/2-), 259,4 (1/2-), 679,8 (3/2-) и 980,2 (3/2-) кэв интерпретируются как одночастичные, определенные нейтронной дыркой с конфигурациями $(1\ g_{9/2})^{-5}$, $(2p_{1/2})^{-1} (1g_{9/2})^6$, $(2p_{3/2})^{-1} (1g_{9/2})^6$ и $(2p_{3/2})^{-1} (2p_{1/2})^{-2} (1g_{9/2})^8$, соответственно. Основное состояние ^{83}Sr ($I^\pi = 7/2^+$) рассматривается как трехчастичное типа $n (g_{9/2})^{-5} 7/2^+$.

2. Распад $^{87\text{m}}\text{Nb}$ (3,8 мин) и ^{87}Nb (2,6 мин)

Изучен спектр гамма-лучей, обнаружены и определены интенсивности 17 переходов, из которых 14 раньше не были известны. Изучен спектр гамма-гамма совпадений. Уточнены периоды полураспада $^{87\text{m}}\text{Nb}$ и ^{87}Nb . Предлагается схема распада $^{87\text{m}}\text{Nb} \rightarrow ^{87}\text{Zr}$ с 8 - в возбужденными уровнями, в том числе 5 - в новыми - 801 (7/2+, 9/2+, 11/2+) 914,4 (7/2+, 9/2+, 11/2+), 1087,1 (5/2-), 1884,2 (7/2+, 9/2+, 11/2+) и 2153,3 кэв (7/2+, 9/2+, 11/2+) (рис.2).

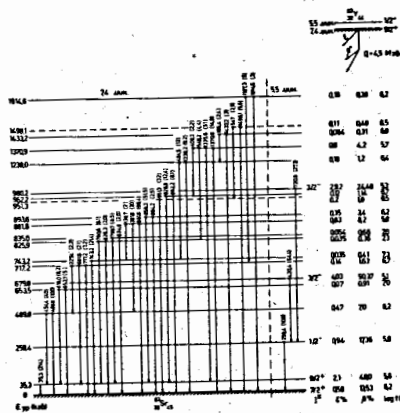


Рис. 1

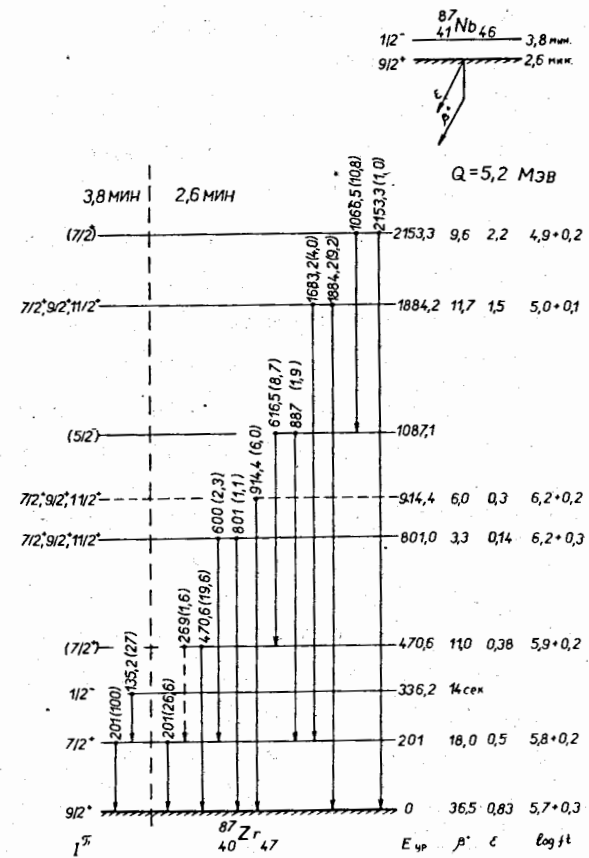


Рис. 2

Определены доли β^+ распада и ε -захвата на каждый уровень ^{87}Zr и вычислены значения $lgft$.

Уровни 0 ($9/2^+$), 336.2 ($1/2^-$) и 1087.1 кэВ ($5/2^-$) интерпретируем как одночастичные определенные нейтронной дыркой с конфигурациями $(1g_{9/2})^{-3}$, $(2p_{1/2})^{-1} (1g_{9/2})^8$ и $(1f_{5/2})^{-1} (1g_{9/2})^8$, соответственно. На основе значения $lgft$ бета-переходов уровни с энергиями 1884 ($7/2, 9/2, 11/2^+$) и 2153 кэВ ($7/2, 9/2, 11/2^+$) рассматриваются как одночастичные или трехчастичные состояния с конфигурацией $n(g_{7/2})^1$ или $n(p_{1/2})^1 p(p_{3/2})^1 p(g_{9/2})^1$. Уровень 201 кэВ ($7/2^+$) интерпретирован как член трехчастичного мультиплета $n(g_{9/2})^{-3}$.

3. Распад ^{89m}Nb (1,18 час) и ^{89}Nb (1.9 час)

Измерен спектр гамма-лучей и обнаружено 75 гамма-переходов. Из них 25 наблюдались впервые. Исследовался спектр β^+ -излучений и уточнена энергия распада ^{89}Nb ($Q_{\beta^+, \varepsilon} = 4340 \pm 50$ кэВ). Изучены спектры гамма-гамма совпадений. На основе полученных результатов предлагается схема распада ^{89}Nb (рис.3). В схему введены 11 новых уровней и уточнены энергии и квантовые характеристики некоторых ранее известных уровней. Определены доли β^+ -распада и электронного захвата на каждый уровень и вычислены значения $lgft$.

Уровни 0 ($9/2^+$), 588 ($1/2^-$), 1095.4 ($3/2^-$) и 1451.2 кэВ ($5/2^-$) интерпретируем как одночастичные, определенные нейтронной дыркой с конфигурациями $(1g_{9/2})^{-1}$, $(2p_{1/2})^{-1}$, $(2p_{3/2})^{-1}$ и $(1f_{5/2})^{-1}$, соответственно. Состояние 1511.4 кэВ

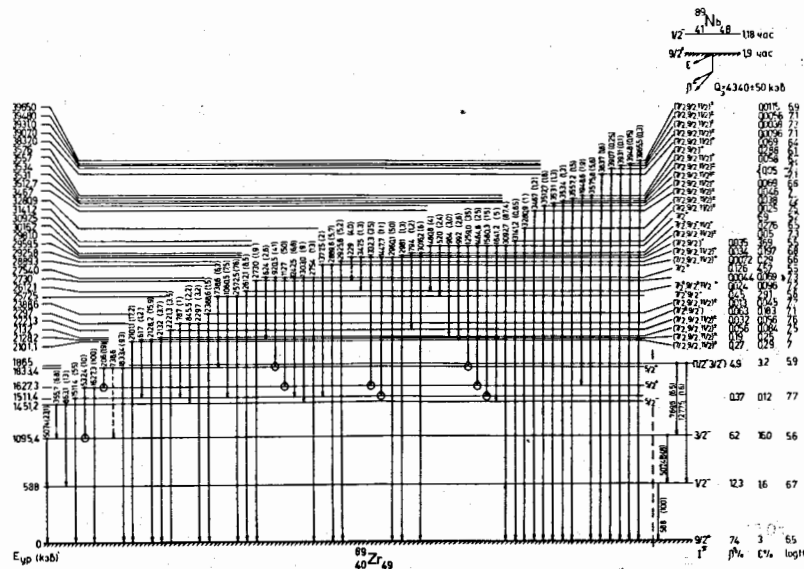


Рис. 3

$(9/2^+)$ заселяется β -переходом при распаде $^{89}\text{Nb}(9/2^+)$, со значением $\lg ft = 7.7$. Такое относительно высокое значение $\lg ft$ для разрешенного бета-перехода можно объяснить связью нейтронной дырки с возбужденным остоном 0^+ (^{90}Zr). Уровни с энергиями 1627.3, 1833.4, 2128, 2221.3 и 2388.6 кэВ интерпретируются как члены мультиплета, обусловленного слабой связью нейтронной дырки в конфигурации $1g_{9/2}$ с возбужденным остоном 2^+ (^{90}Zr) [7]. Уровни с энергиями 2527, 2754, 2959.5 и 3092.5 кэВ, на которые идут довольно быстрые β^+ -переходы с $\lg ft < 6$, рассматриваются как одночастичные или трехчастичные состояния с конфигурацией $n(g_{7/2})^1$ или $p(p_{3/2})^{-1} p(g_{9/2})^1$ $n(p_{1/2})^{-1}$.

В третьей главе делаются выводы о структуре низколежащих состояний нечетных ядер, близких к магическому с $N = 50$.

Систематизированы энергии низколежащих состояний ядер с $N = 45, 47$ и 49 , времена жизни $1/2^-$ состояний и вероятности бета переходов на уровни с $I^\pi = 9/2^+, 7/2^+, 1/2^-$ и $3/2^-$. Анализ этих данных позволяет отметить следующее:

1. Почти во всех рассматриваемых выше ядрах нижние состояния характеризуются спинами и четностями $9/2^+, 1/2^-, 3/2^-$ и $5/2^-$.
2. Расстояния между состояниями $1/2^-$, $3/2^-$ и $5/2^-$ почти одинаковы у ядер с $N = 45, 49$ и эти состояния с увеличением A (или Z) удаляются от состояния $9/2^+$. Это повторяется и в случае ядер с нечетным числом протонов $Z = 39, 41$ и 43 . В простой модели оболочек такое увеличение расстояний между уровнями можно объяснить расширением потенциальной ямы ядра с ростом A . Но такое

объяснение оказывается недостаточным для большого изменения $\Delta E_{p\ 1/2 - g\ 9/2}$ от ядра к ядру. Коэн [8] показал, что для ^{40}Zr и ^{50}Sn имеется сильное отталкивание между протонами $g_{9/2}$ и нейтронами $g_{7/2}$, возникающее из-за того, что они имеют одинаковые орбитальные угловые моменты. Аналогичное объяснение представляется удовлетворительным для случая ядер с $N = 45, 47$ и 49 , если обратить внимание на то, что увеличение взаимодействия $n(p_{1/2} p_{3/2}) - p(p_{1/2})$ связано с заполнением протонных оболочек $p_{1/2}$ и $p_{3/2}$ при увеличении Z от 34 до 42.

3) Факторы задержки М4-переходов между нейтронными состояниями $1/2^- \rightarrow 9/2^+$ близки к одночастичным оценкам по Мошковскому ($F_{\text{зад}} = 0.77 \div 1.37$). Что касается ЕЗ-переходов, то для них факторы задержки $F_{\text{зад}} = 17 - 137$. Для таких (ЕЗ) переходов правила отбора по угловым моментам должны относиться не только ко всему ядру $(I_i - I_f) \leq L$, но и к отдельному нуклону, совершающему переход $(j_i - j_f) \leq L$. Может оказаться, что последнее условие не выполняется (j -запрет). Например, переход ЕЗ между состояниями

$$[(g_{9/2})_{I=0}; p_{1/2}] \rightarrow (g_{9/2})_{I=7/2}^{-3}$$

разрешен по полному моменту ядра $(I_i - I_f) = 3$, но запрещен по моменту отдельного нуклона $(j_i - j_f) = 4$. Это приводит к задержке ЕЗ-переходов.

4. Одночастичная вероятность бета-переходов типа $1/2^- \rightarrow 3/2^-$ и $9/2^+ \rightarrow 7/2^+$ на порядок больше, чем вероятность переходов типа $1/2^- \rightarrow 1/2^-$ и $9/2^+ \rightarrow 9/2^+$. Абсолютные измеряемые вероятности всех бета-переходов меньше, чем одночастичные вероятности

на 1-2 порядка. Это показывает, что существуют эффекты, которые существенно задерживают скорости бета-распада. Учет смеси конфигураций или парной корреляций уменьшает расхождение между измеряемыми и расчетными вероятностями бета-переходов.

Итак, низколежащие уровни нечетных ядер, близких к магическому с $N=50$, можно интерпретировать как одночастичные состояния.

В четвертой главе приводятся результаты исследований свойств возбужденных состояний ^{88}Zr , возникающих при распаде $^{88\text{m}}\text{Nb}$ (7.3 мин) и ^{88}Nb (14 мин). Изучались спектры гамма-лучей, возникающих при распаде $^{88\text{m}}\text{Nb}$. Наблюдались 95 гамма-перехода, в том числе 82 перехода, ранее неизвестных. Измерены спектры гамма-гамма-совпадений. На основе полученных результатов предложена схема распада $^{88\text{m}}\text{Nb}$ (рис. 4). В схему введен 21 новый уровень. Уточнены энергии и квантовые характеристики ранее известных состояний. Вычислены доли β^+ -распада на каждый уровень ^{88}Zr и определены значения $\log ft$.

При изучении спектров гамма-лучей ^{88}Nb (8^+) наблюдались 37 гамма-переходов. Из них 28 обнаружены впервые. Изучались спектры гамма-гамма-совпадений и электронов внутренней конверсии. Определены мультипольности гамма-переходов с энергиями 76.7 и 271.4 кэВ. Предлагается схема распада ^{88}Nb (8^+), (рис. 5). В схему введены 10 уровней, 4 из них являются новыми (3885.5 ($7,8$) $^+$, 4162.5 ($7,8,9$) $^+$, 4609.4 ($7,8,9$) $^+$ и 4933.6 кэВ ($7,8,9$) $^+$). Вычислены доли β^+ -распада на каждый уровень и значения $\log ft$. Уровни ^{88}Zr (0^+ , 2^+ , 4^+ , 6^+ , и 8^+) интерпретируем как двухчастичные состояния с конфигурацией $\pi (g_{9/2})^2 \nu (g_{9/2})^{-2}$.

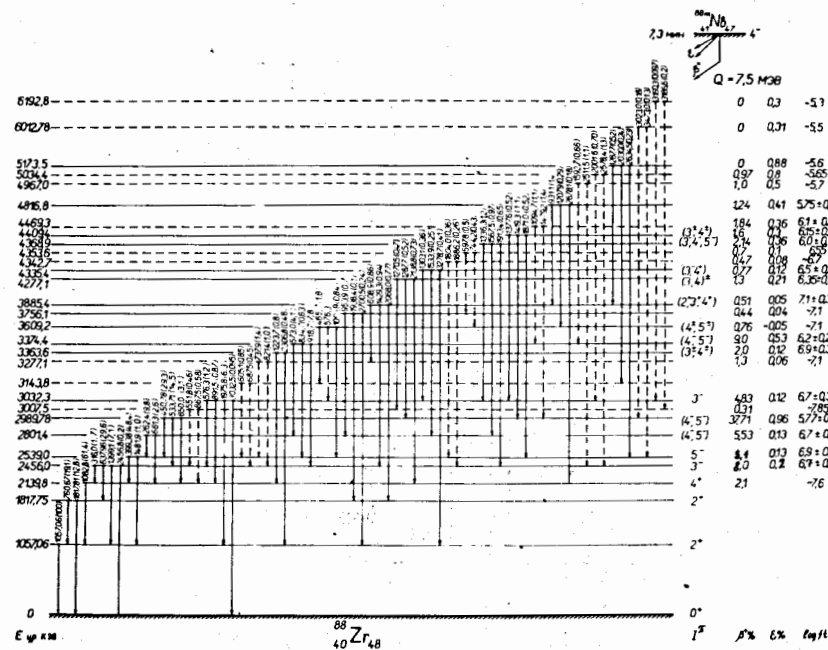
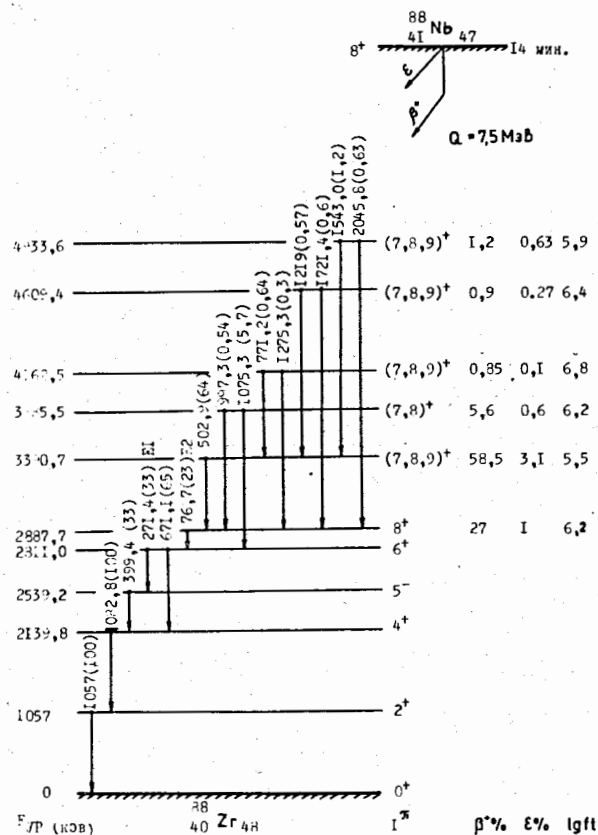


Рис. 4



Уровни с энергиями 2539 (5⁻) и 2989.8 кэВ (4⁻, 5⁻) интерпретируются как двухчастичные состояния. Возможно, что эти два уровня относятся к дублету конфигурации $\pi(p_{1/2})^1 \pi(g_{9/2})^3$. Учитывая, что значение $\lg ft$ для бета-перехода на уровень 3390.7 кэВ на 0.7 меньше, чем на уровень 2887.7 кэВ (8⁺), мы предполагаем, что данное состояние возбуждается вследствие бета-перехода $\pi(g_{9/2}) \rightarrow \pi(g_{7/2})$, для которого значения $\lg ft$ всегда значительно меньше [9, 10]. Но тогда это должен быть переход в следующую оболочку и нейтронная конфигурация уровня будет $\pi(g_{7/2})^1 \pi(g_{9/2})^{-3}$. Также на основе вероятности бета-переходов ($\lg ft$) некоторые уровни (3885.5 кэВ и 4162.5 кэВ) рассматриваются как четырехчастичные состояния. Состояние с энергией 2456 кэВ интерпретируется как октупольно-вибрационное.

Основные результаты и общие выводы

В диссертационной работе проведены экспериментальные исследования свойств возбужденных состояний ядер ^{83}Sr , ^{87}Zr , ^{89}Zr и ^{88}Zr , возникающих при радиоактивном распаде ^{83}Y , ^{87}Nb , ^{89}Nb и ^{88}Nb , соответственно. Полученные результаты сводятся к следующему:

1. Изучались спектры гамма-лучей при распаде ^{83}Y и уточнен период полураспада $^{83\text{m}}\text{Y}$. Предлагается схема распада $^{83\text{m}}\text{Y}$ и ^{83}Y .

2. Измерены спектры гамма-лучей и гамма-гамма-совпадений при распаде ^{87}Nb , введены 5 новых уровней в схему распада.

3. Исследовались спектры гамма-лучей, гамма-гамма-совпадений и β^+ -частиц при распаде ^{89}Nb . Уточнена энергия распада ^{89}Nb . В схеме распада ^{89}Nb введены II новых уровней.

4. Систематизированы энергии низколежащих уровней ядер с $N=45, 47$ и 49 , времена жизни $1/2^-$ - состояний и вероятности бета-переходов. Анализ систематизированных данных показывает, что данные уровни можно рассматривать в рамках модели оболочек как одночастичные состояния.

5. При распаде $^{88\text{m}}\text{Nb}$ и ^{88}Nb измерены спектры гамма-лучей, гамма-гамма-совпадений и электронов внутренней конверсии. Предлагаются схемы распада $^{88\text{m}}\text{Nb}$ и ^{88}Nb . В ядре ^{88}Zr выделены двухчастичные, четырехчастичные и октупольно-вибрационное состояния.

Основные результаты исследований, изложенные в диссертации, докладывались на 22-м совещании по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (Киев, январь, 1972), 13-м совещании по ядерной спектроскопии и теории ядра (Дубна, июнь, 1973) и 24-м совещании по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (Харьков, январь, 1974) и были опубликованы в работах [II-I6].

Литература:

1. К.Я.Громов, Б.С.Джелепов. Сообщение ОИЯИ 6-3997, Дубна, 1968.
2. Г.Музиоль, Сообщение ОИЯИ, Р6-4825, Дубна 1969.
3. Г.Музиоль, В.И.Райко, Х.Тыррофф. Сообщение ОИЯИ, Р6-4825, Дубна, 1969.
4. Б.Баяр, И.Воцилка, Н.Г.Зайцева, А.Ф.Новгородов, ОИЯИ, Р12-7340, Дубна, 1973.
5. М.Гасиор, К.Я.Громов, В.В.Кузнецов и др. Тезисы докладов на 13-м совещании ядерной спектроскопии и теории ядра, Д6-7094, стр.167, Дубна, 1973.
6. R.W.Berkaw, R.E.Warner, Phys.Rev. C2, 297 (1970).
7. T.Nausman, K.P.Lieb, Phys.Rev. 186, 1229 (1969).
8. B.L.Cohen, Phys.Rev. 127, 597 (1969).
9. К.Александр, Сообщение ОИЯИ, Р6-3785, Дубна, 1968.
10. Л.К.Пекер, Материалы IV зимней школы физ.-тех.института АН СССР по теории ядра и физике высоких энергий, Изд. ЛФТИ, Л., 1969, стр.163.
11. А.А.Абдуразаков, А.Баланда, Б.Крачик, М.Тошев, Ф.Хамраев, Чан Тхань Минь, Сообщение ОИЯИ, Р6-6249, Дубна, 1972.
12. И.Воцилка, Б.Крачик, Я.Липтак, А.Ф.Новгородов, М.Тошев, Сообщение ОИЯИ, 6-7177, Дубна, 1973 Изв. АН СССР, сер., №1, 57 физ.т.38, №1, 57 (1974).
13. И.Воцилка, Х.У.Зиберт, Б.Крачик, Я.Липтак, А.Ф.Новгородов, Х.Г.Ортлепп, М.Тошев, В.Хабенихт, Сообщение ОИЯИ, 6-7477, Дубна, 1973; Изв. АН СССР, сер. физ. т.38, №4, 674 (1974).
14. И.Воцилка, Н.Г.Зайцева, Б.Крачик, Я.Липтак, Х.Г.Ортлепп, А.Ф.Новгородов, М.Тошев, В.Хабенихт, Тезисы докладов на 13-м совещании по ядерной спектроскопии и теории ядра, Д6-7094, стр.72, Дубна, 1973.

15. Р.Арлыт, Б.Баяр, И.Воцилка, Ц.Вылов, Н.Г.Зайцева, Б.Крачик, Я.Липтак, А.Ф.Новгородов, Ф.Севера, М.Тошев, Сообщение ОИЯИ, 6-6966, Дубна, 1973.
16. Б.Баяр, И.Воцилка, М.Госиор, Н.Г.Зайцева, Б.Крачик, В.В.Кузнецов, Я.Липтак, Г.И.Лизурей, А.Ф.Новгородов, Х.Г.Ортлепп, М.Тошев, В.Хабенихт, Сообщение ОИЯИ, 6-7476, Дубна, 1973; Изв. АН СССР, сер.физ. т.38, №4, 666(1974).

Рукопись поступила в издательский отдел
2 июля 1974 года.