

СЗ41.1
К-172

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

6 - 4388

В.Г.Калинников

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДАМИ ЯДЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ
ОСНОВНЫХ И ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ
НЕКОТОРЫХ СФЕРИЧЕСКИХ ЯДЕР
С МАССОВЫМИ ЧИСЛАМИ $A = 136, 138, 140$

Специальность 055 - физика атомного ядра
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук

Дубна 1969

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований.

Научные руководители:

доктор физико-математических наук К.Я. Громов
кандидат физико-математических наук Ж.Т. Желев

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук Б.Н.Калинкин
кандидат физико-математических наук В.П.Приходцева

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Научно-исследовательский физический институт Ленинградского государственного университета.

Автореферат разослан " " 1969 г.

Защита диссертации состоится " " 1969 г.

на заседании Ученого совета Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета

кандидат физико-математических наук

О.А. Займидорога

6 - 4388

В.Г.Калинников

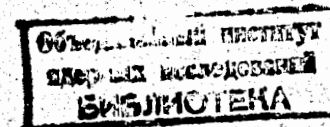
6019 Вр.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДАМИ ЯДЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ
ОСНОВНЫХ И ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ

НЕКОТОРЫХ СФЕРИЧЕСКИХ ЯДЕР
С МАССОВЫМИ ЧИСЛАМИ $A = 136, 138, 140$

Специальность 055 - физика атомного ядра
и космических лучей

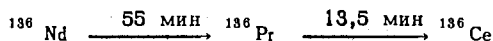
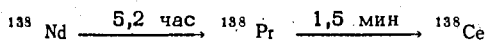
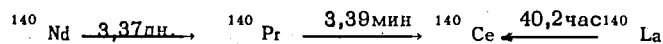
Автореферат диссертации на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук



Изучавшиеся в работе ядра с четными массовыми числами $A=136, 138, 140$ ($Z = 57-60, N = 83-76$) принято считать имеющими равновесную сферическую форму (по крайней мере в основном состоянии). Их свойства обычно описывались в рамках моделей оболочек и вибрационной. Однако в последнее время некоторыми исследователями ^{1,2/} делается попытка описать свойства "сферических" ядер по аналогии со свойствами соседних сильнодеформированных ядер (т.н. "квазиротационная" модель).

Поэтому исследование свойств возбужденных и основных уровней ядер, примыкающих по числу нейтронов к $N=82$, представляет интерес, во-первых, с точки зрения обнаружения среди них уровней "коллективной" природы, ожидаемых по феноменологической "квазиротационной" модели, во-вторых, с точки зрения экспериментальной проверки некоторых следствий микроскопического описания свойств таких ядер, которое удастся провести в силу близости их нейтронной системы к $N=82$, а протонной - к $Z=50$.

В связи с этим были предприняты исследования следующих "цепочек" распада:



Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. В первой главе рассмотрены методические вопросы эксперимента.

Изучавшиеся в работе изотопы Nd выделялись хроматографическим способом из продуктов реакции глубокого расщепления Gd или Er быстрыми протонами ($E_p = 660$ МэВ). Облучения мишеней производились на внутреннем пучке протонов синхротрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. Время облучений варьировалось от 0,5 до 15 часов.

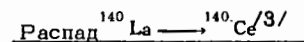
Изотоп ^{140}La выделялся из материнского ^{140}Ba , который получался по реакции деления урана. Мишень из окиси урана UO_3 весом 250 мкг, обогащенная по ^{235}U до 20%, облучалась в течение 26 часов на реакторе Исследовательского центра в Рисё (Дания).

Для исследования позитронного излучения и спектров электронов внутренней конверсии изотопов Nd и Pr использовались три магнитных бета-спектрометра. Для изучения β^+ -спектров в основном служил бета-спектрометр с трехкратной фокусировкой пучка в однородном магнитном поле (разрешение - 1%, используемый телесный угол - 0,1% от 4π , фон - несколько имп/час). Спектры же электронов внутренней конверсии изучались при помощи бета-спектрометра с двойной фокусировкой пучка на угол $\pi\sqrt{2}$ (разрешение - 0,13% при светосиле 0,2% от 4π , фон - 2-4 имп/мин) и при помощи бета-спектрометра с двойной двукратной фокусировкой пучка на угол $\pi\sqrt{2}$ (разрешение - 0,20%, светосила 0,25% от 4π , фон - менее 1 имп/сутки).

Спектры гамма-лучей изучавшихся изотопов измерялись на двух гамма-спектрометрах. В первом спектрометре использовались Ge(Li)-детекторы коаксиального типа с чувствительным объемом 5 и 12 см³. Оба детектора имели разрешающую способность 4,0-5,5 кэВ на гамма-линии 1332 кэВ ^{60}Co . Во втором спектрометре использовались Ge(Li)-детекторы с объемами 10 и 20 см³. Разрешающая способность детектора с объ-

мом 10 см³ была 3,0 кэВ на пике аннигиляционного излучения, второй детектор имел разрешающую способность 5,5 кэВ на линии 1332 кэВ ^{60}Co .

Вторая глава посвящена результатам исследования распада "цепочки" изобар с $A=140$.



а). В гамма-спектре ^{140}La обнаружены ранее неизвестные линии с $E_\gamma = 438,5; (446,0); 836,9; 2465,3$ и $2533,4$ кэВ и определены их интенсивности. Кроме того, уточнены интенсивности многих ранее известных гамма-линий ^{140}La . Показано, что практически все наблюдавшиеся только Антоньевой и др. /4/ малоинтенсивные гамма-линии ^{140}La являются пиками "обратного" рассеяния или пиками "одиночного" или "двойного" вылета.

б). Экспериментальное определение величин α_k позволило установить типы мультипольностей следующих гамма-переходов: 109,42 ($M1 + < 30\% E2$), 131,12 ($M1 + < 8\% E2$), 241,97 ($M1 + E2$), 266,55 кэВ ($M1 + E2$). Мультипольности гамма-переходов 2348,1 (E2), 2521,7 (E2), 2899,7 (E2), 3119,0 ($M1, E2$) и 3319,6 ($M1, E2$) нами определены из анализа опубликованных экспериментальных /5/ и теоретических /6/ данных об отношениях вероятностей их внутренней парной конверсии и внутренней конверсии на К-оболочке (α_p/α_k).

в). По энергетическим соображениям обнаруженные гамма-переходы 438,5; 446,0 и 2465,3 кэВ размещены между известными уровнями ^{140}Ce . В схему уровней ^{140}Ce введен новый уровень 2533,4 кэВ, разряжающийся переходами 2533,4 и 836,9 кэВ (рис. 1).

г). На основании уточненных интенсивностей гамма-переходов ^{140}La с большой точностью рассчитан баланс интенсивностей гамма- и бета-переходов в схеме распада ^{140}La , определены вероятности заселения каждого уровня ^{140}Ce β^- -

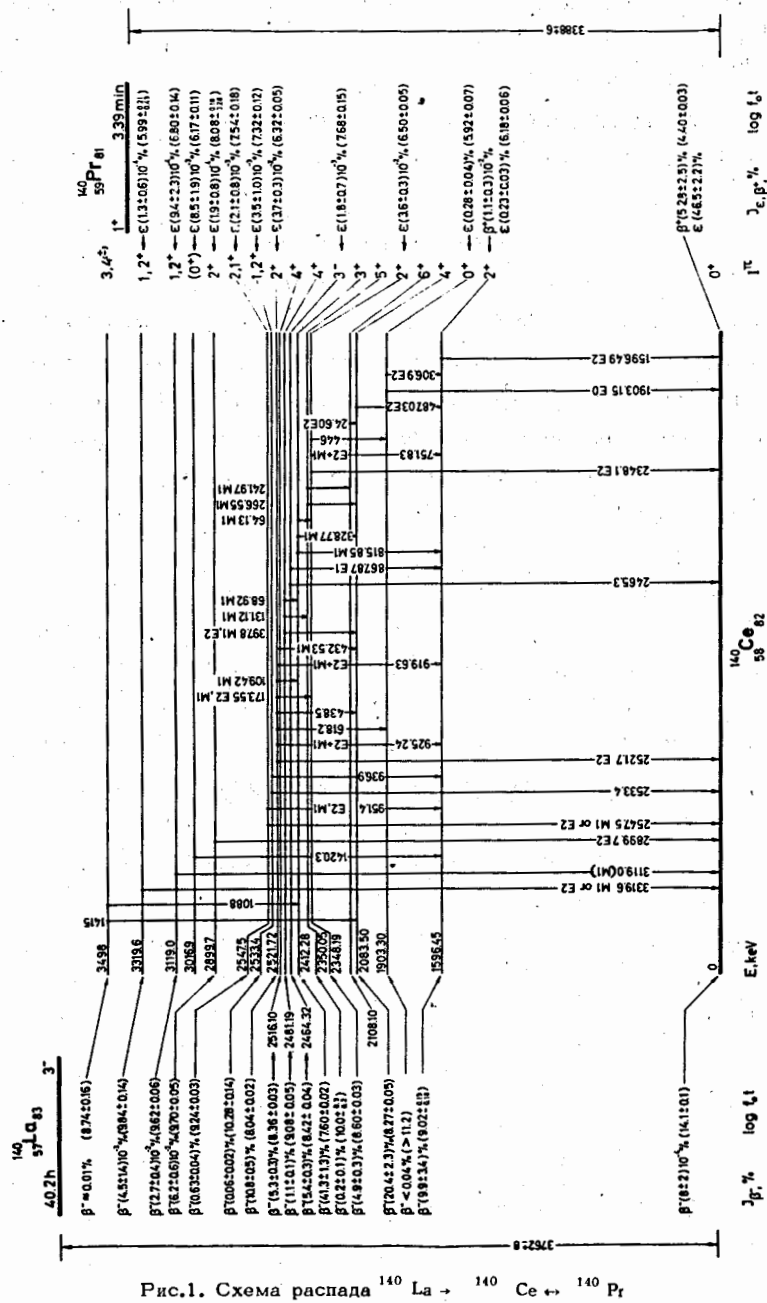
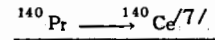


Рис.1. Схема распада $^{140}\text{La} \rightarrow ^{140}\text{Ce} \leftrightarrow ^{140}\text{Pr}$

распадом и установлены значения $\lg ft$ для каждого β^- -перехода ^{140}La (рис. 1).

д). Уточнены или указаны заново квантовые характеристики следующих уровней ^{140}Ce : 2348,19 (2^+), 2350,05 (5^+), 2516,10 (4^+), 2521,72 (2^+); 2533,4 ($1,2^+$), 2899,7 (2^+) и 3498 кэВ ($3,4^+$).

е). Из данных о приведенной вероятности возбуждения уровня 2464,32 кэВ $\text{B}(E3, 0^+ \rightarrow 3^-)$ при неупругом рассеянии альфа-частиц и наших данных об интенсивностях высвечивающихся его гамма-переходов рассчитано время жизни этого состояния: $T_{1/2} \approx 6 \cdot 10^{-14}$ сек.



а). Значительно уточнена разность масс нуклидов ^{140}Pr и ^{140}Ce , путем измерения граничной энергии β^+ -перехода между их основными состояниями ($E_{\text{гр}} = 2366 \pm 6$ кэВ).

б). В спектре гамма-излучения ^{140}Pr впервые были наблюдаемы гамма-линии 109,0; 174; 618,2; 751,7; 867,8; 924,24; 936,0; 950,7; 1420,3; 2348,3; 2521,7; 2533; 2547,5; 2900; 3120; 3325 кэВ и определены (или оценены) их относительные интенсивности. Для гамма-переходов 2348,3 и 2521,7 кэВ изучена также их внутренняя конверсия на К-оболочке.

в). Существенно уточнены верхний предел величины $\alpha_1 (>50)$ и отношение K/L для $0^+ \rightarrow 0^+$ -перехода в ядре ^{140}Ce . Полученное нами отношение K/L из всех известных экспериментальных отношений наиболее близко к теоретическому.

г). В схему распада ^{140}Pr введен ряд уровней ^{140}Ce , большинство из которых известны из распада ^{140}La . Дополнительно введен не проявляющийся при распаде ^{140}La уровень 3016,9 кэВ (рис. 1).

д). Из данных об интенсивностях γ - и β^+ -переходов рассчитан баланс их интенсивностей, определены заселенности

уровней ^{140}Ce β^+ -переходами ^{140}Pr и установлены величины $\lg ft$ для каждого β^+ -перехода (рис. 1).

е). Впервые предложены характеристики $1^\pi = 0^+$ и $1,2^+$ для уровней 3016,9 и 3319,6 кэВ, соответственно, на основании вероятностей их заселения при распаде ^{140}Pr .

ж). Исходя из известного $^{18/}$ времени жизни возбужденного состояния 0^+ (1903,30 кэВ) и из вероятностей его разряда-ки электромагнитными переходами, мы определили приведенный матричный элемент монополярного электрического перехода ($\rho = 0,12$), а также параметр $X=B(E0,0^+ \rightarrow 0^+)/B(E2,0^+ \rightarrow 2^+) = 0,05$.

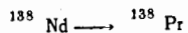
Совокупность экспериментальных сведений об уровнях ^{140}Ce сопоставлена с предсказаниями различных моделей, а также со свойствами других четно-четных ядер с $N=82$ (рис.2). Оказалось, что:

а). Энергии и квантовые характеристики ряда уровней ^{140}Ce , вероятности высвечивания их гамма-лучами, неплохо описываются в рамках моделей двухквазипротонных уровней $^{10-12/}$. Наиболее удовлетворительна в этом смысле модель Ломбарда $^{12/}$.

б). В рамках феноменологического описания в ядре ^{140}Ce удается выявить аналоги коллективных "β"- и "γ"-вибрационных и октупольных уровней сильно деформированных ядер (соответственно, 1903,30 (0^+), 2547,5 (2^+) и 2464,3 кэВ (3^-)).

в). Показано, что при распаде ^{140}La в ядре ^{140}Ce возбуждается двухквази нейтронный частично-дырочный уровень 3498 кэВ, относящийся к мультиплету $\{n_1(d_{3/2}), n_2(f_{7/2})\}$.

Третья глава посвящена изучению распада цепочки изобар с $A=138$ $^{14,15/}$.



а). Путем наблюдения в спектре 5,2-часовой активности неодима гамма-перехода 787,1 (E2), происходящего в ядре

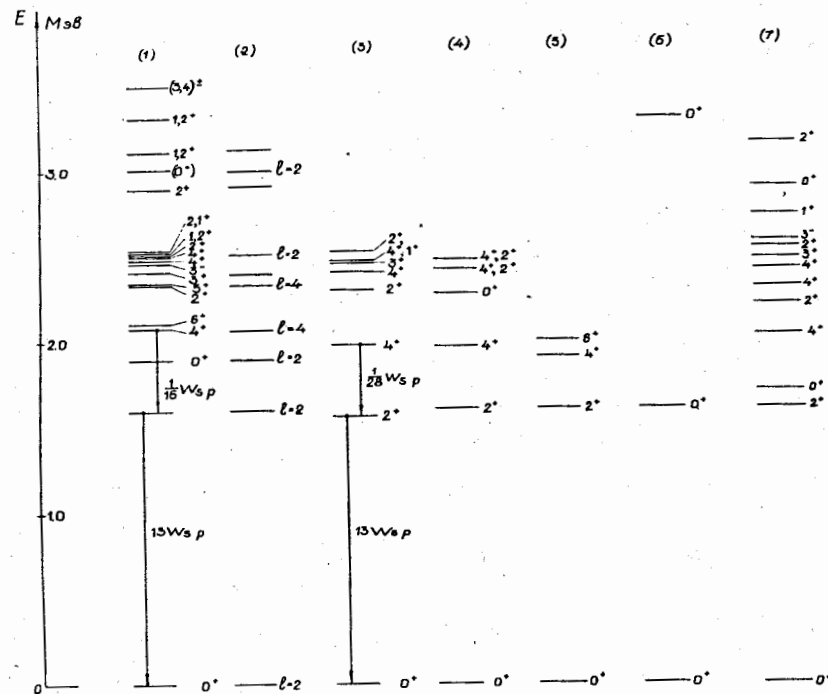


Рис.2. Сравнение спектра уровней полумагического ядра ^{140}Ce , установленного экспериментально из распада ^{140}La и ^{140}Pr (1) и из реакции $^{141}\text{Pr}(d, ^3\text{He})$ $^{9/}$ (2), с расчетным спектром по двухквазичастичным моделям Ро $^{10/}$ (3), Пластино и др. $^{11/}$ (4), Габракова (5), Ломбарда $^{12/}$ (7) и по моделям парных вибраций Беса и др. $^{13/}$ (6).

^{138}Ce , этой активности окончательно приписано массовое число 138.

б). Существенно уточнено значение периода полураспада ^{138}Nd ($T_{1/2} = 5,2 \pm 0,1$ час).

в). К распаду ^{138}Nd отнесен гамма-переход 326 кэВ, имеющий мультипольность $M1 + E2$ ($< 35\%$).

г). Предложена схема распада $^{138}\text{Nd} \rightarrow ^{138}\text{Pr}$ (рис. 3).

д). Показано, что возбужденное состояние ^{138}Pr с энергией 326 кэВ (1^+) затруднительно интерпретировать в рамках модели оболочек.



а). Впервые измерен период полураспада изотопа ^{138}Pr ($T_{1/2} = 1,50 \pm 0,15$ мин).

б). Уточнены существенным образом данные о граничной энергии β^+ -спектра ^{138}Pr ($E_{\text{гр}} = 3415 \pm 10$ кэВ) и его интенсивность по отношению к полной интенсивности $0^+ \rightarrow 0^+$ -перехода: $I_{e^{-1473,8}}/I_{\beta^+ 3415} = (3,5 \pm 0,5) \cdot 10^{-4}$.

в). К распаду ^{138}Pr впервые отнесены гамма-переходы 559; 686,5 (E2), 722, 787,1 (E2), 1246 и 1510 кэВ. Уточнены сведения о $0^+ \rightarrow 0^+$ -переходе с энергией 1473,8 кэВ.

г). Предложена схема распада $^{138}\text{Pr}(1^+) \rightarrow ^{138}\text{Ce}$, в которую впервые введены уровни 787,1 (2^+), 1510 (2^+) и 2033 (2^+) кэВ, что, в частности, позволило разместить гамма-переход 686,5 кэВ (рис. 3).

д). Наблюдаемые при распаде ^{138}Pr уровни ^{138}Ce могут быть объяснены по вибрационной модели как однофонное (787,1 кэВ), двухфонные (1473,8 и 1510 кэВ) и трехфонные (2033 кэВ) состояния. В то же время эти уровни могут быть интерпретированы как "коллективные", относящиеся к "квазиротационной" полосе основного (0 и 787,1 кэВ), "бета-вибрационного" (1473 и 2033 кэВ) и "гамма-вибрационного" состояния (1510 кэВ).

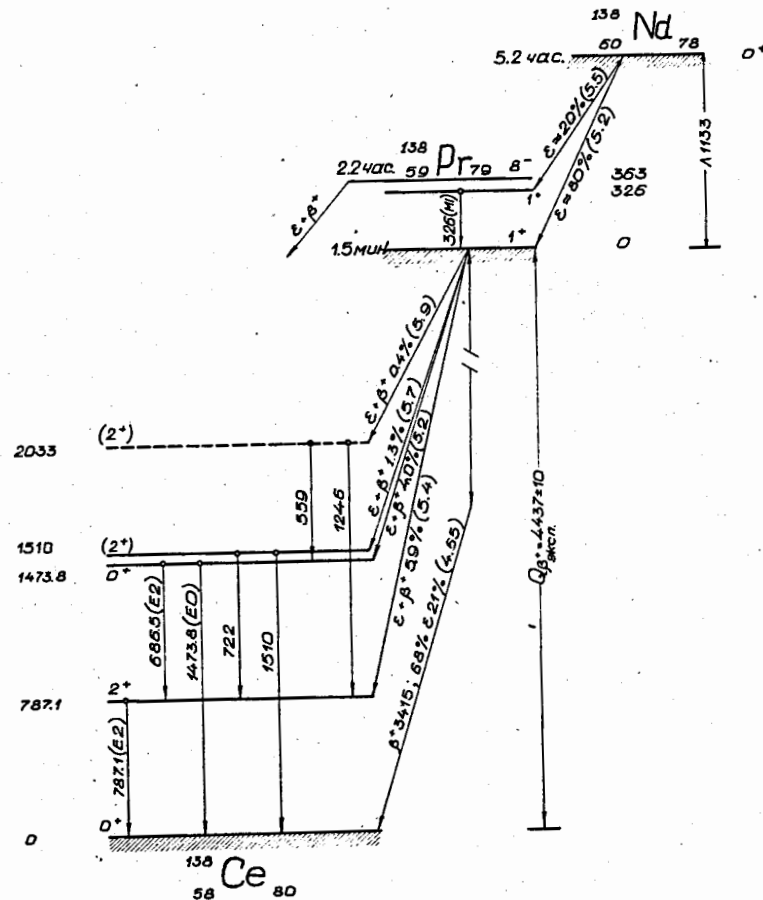
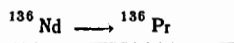


Рис.3. Схема распада $^{138}\text{Nd} \rightarrow ^{138}\text{Pr} \rightarrow ^{138}\text{Ce}$.

е). На основании баланса энергий показано, что состояние ^{138}Pr с $T_{1/2} = 1,50 \pm 0,15$ мин является основным, а состояние с $T_{1/2} = 2,2$ час - изомерным, лежащим на 363 ± 23 кэВ выше; эти состояния в рамках модели оболочек интерпретированы как имеющие конфигурации $\{p(d_{5/2}), n(d_{3/2})\}_{1+}$ и $\{p(d_{5/2}), n(h_{11/2})\}_{8-}$. Определена разность "остаточного" взаимодействия неспаренных протона и нейтрона в ядре ^{138}Pr в изомерном и основном состояниях: $V_{p,n}^m - V_{p,n}^{\text{осн.}} = (109 \pm 23)$ кэВ.

В четвертой главе излагаются результаты исследования распада ядер-изобар с $A=136$ /16-19/.



а). Идентифицирован ранее неизвестный изотоп ^{136}Nd ($T_{1/2} = 55,0 \pm 1,5$ мин).

б). К распаду ^{136}Nd отнесена β^+ -компонента с $E_{\text{гр}} = 1330 \pm 50$ кэВ и гамма-переходы 108,8; 575,5' и 684 кэВ. Определены типы мультипольностей двух первых переходов: $(97,00 \pm 0,15)\%$ $M1 + (3,00 \pm 0,15)\%$ $E2$ и $M1 + (E2)$, соответственно.

в). Предложена схема распада $^{136}\text{Nd} \rightarrow ^{136}\text{Pr}$. Показано, что распад $^{136}\text{Nd}(0^+)$ происходит, в основном, на уровень 108,8 кэВ (1^+). Кроме этого состояния, также возбуждается и уровень 684 кэВ (1^+). Для основного состояния ^{136}Pr (13,5 мин) предложены характеристики $I^\pi = 2^+$, взамен ранее предлагавшихся $I^\pi = 1^+$ (рис. 4).

г). В рамках модели оболочек основное состояние ^{136}Pr интерпретировано как имеющее конфигурацию $\{p(g_{7/2}), n(d_{3/2})\}$, а уровень 108,8 кэВ (1^+) - как имеющий конфигурацию $\{p(d_{5/2}), n(d_{3/2})\}$. В то же время состояние 684 кэВ (1^+) невозможно интерпретировать по модели оболочек.

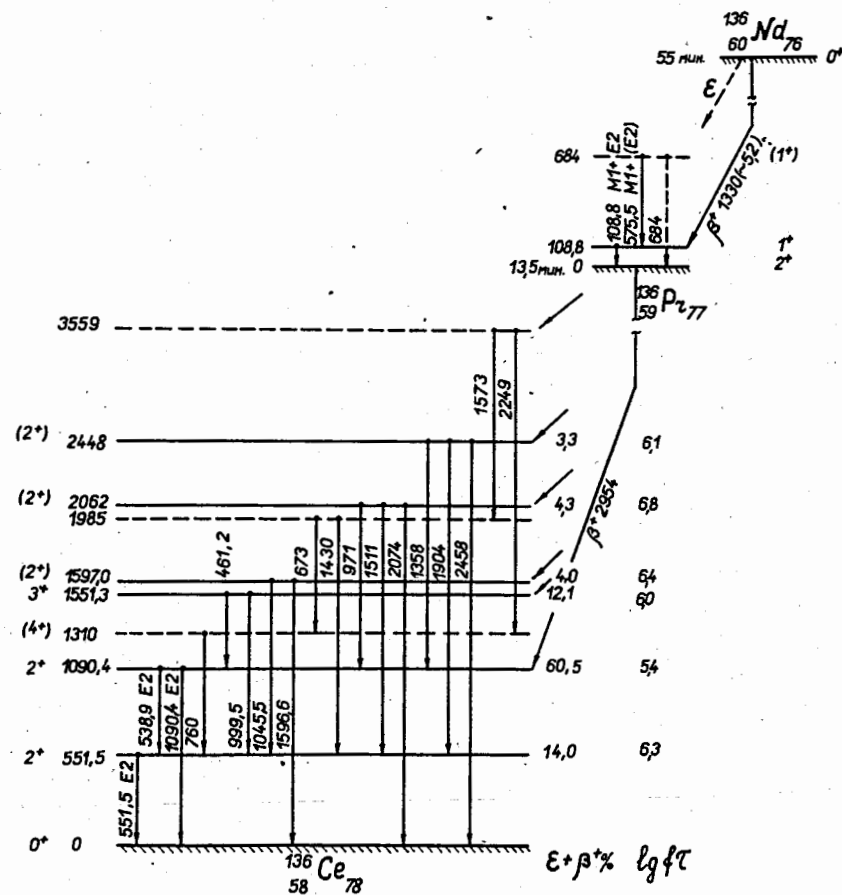
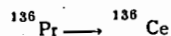


Рис.4. Схема распада $^{136}\text{Nd} \rightarrow ^{136}\text{Pr} \rightarrow ^{136}\text{Ce}$.



а). Уточнены относительные интенсивности ряда гамма-лучей. Изучена внутренняя конверсия гамма-переходов 538,9; 551,5 и 1090,4 кэв; показано, что эти переходы типа E2.

б). Дополнена и частично изменена схема распада $^{136}\text{Pr} \rightarrow ^{136}\text{Ce}$ (рис. 4). Уровням 551,5 и 1090,4 кэв однозначно приписаны $I^\pi = 2^+$. Показано, что существование уровня 760 кэв, введенного в работе /20/, крайне невероятно. Гамма-переход 760 кэв нами помещен в другом месте схемы. Существование введенного нами уровня 1310 кэв (4^+) подтверждается данными по изучению реакции $^{124}\text{Sn}(^{16}\text{O}, 4n)^{136}\text{Ce}$ /21/.

Изменены характеристики уровня 1551,3 кэв (3^+). Для состояний 1597, 2062 и 2448 кэв предлагаются предположительно характеристики 2^+ . Введены предположительно два новых уровня 1985 и 3559 кэв.

в). По энергетическим и спиновым соображениям в ^{136}Ce выделены две "квазиротационные" полосы, связанные с основным ($0(0^+)$, 551,5 (2^+), 1310 (4^+) кэв) и "гамма-вибрационным" (1090,4 (2^+), 1551,3 (3^+) кэв) уровнями. Такая классификация подтверждается тем, что гамма-переход внутри полосы с $K = 2^+(3^+ \rightarrow 2^+)$ имеет приведенную вероятность в ≈ 80 раз большую, чем гамма-переход с уровня 3^+ на уровень 2^+ полосы основного состояния.

г). С существованием квазиротационных полос в ^{136}Ce также согласуется различие в заселенностях уровней 551,5 (2^+) и 1090,4 (2^+) кэв β^+ -распадом. Это можно объяснить действием К-запрета, если предположить, что в данной области ядер К является хотя бы приближенным квантовым числом. С этой точки зрения основное состояние ^{136}Pr можно интерпретировать, как имеющее конфигурацию $\{p_{5/2+413}^n 1/2+400\}$.

В результате проделанной работы удалось:

1. Установить существование новых изотопов ^{136}Nd и ^{138}Pr и окончательно приписать 5,2-часовой активности неодиума массовое число 138.

2. Детально исследовать спектры гамма-лучей, электронов внутренней конверсии и β^+ -частиц, сопровождающие распад ^{140}La , $^{136, 138, 140}\text{Pr}$ и $^{136, 138}\text{Nd}$. На основании полученного экспериментального материала впервые предложены или значительно дополнены схемы распада указанных ядер.

3. Показать, что наблюдаемый спектр возбужденных состояний полумагического ядра ^{140}Ce лучше всего описывается в рамках двухквазипротонного представления /12/. В рамках феноменологической "квазиротационной" модели в ^{140}Ce можно выделить уровни, являющиеся аналогами " γ "-" β "-вибрационных и октупольных уровней сильнодеформированных ядер.

4. Сделать вывод о том, что для описания уровней ядер ^{138}Ce и ^{136}Ce в настоящее время наиболее приемлемой является "квазиротационная" модель.

5. Показать, что свойства основных и самых нижних состояний нечетно-нечетных ядер $^{136, 138, 140}\text{Pr}$ и ^{140}La можно понять в рамках одночастичной оболочечной модели. Однако в этом представлении не удалось описать конфигурации основного состояния ^{140}La , состояния 326 (1^+) и 684 (1^+) кэв, соответственно, в ядрах ^{138}Pr и ^{136}Pr .

Диссертационная работа выполнена в Отделе ядерной спектроскопии и радиохимии Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований и частично в Институте физики университета г. Орхус (Дания).

Основные результаты исследований, изложенные в диссертации, были доложены на VII-X рабочих совещаниях по ядерной спектроскопии нейтронодефицитных изотопов и теории деформированных ядер (Дубна, 1964-67 гг.), на XVI-XVIII ежегодных всесоюзных совещаниях по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (1966-68 гг.) и на Международном симпозиуме по структуре ядра (Дубна, 1968 г.), а также опубликованы в печати /3,7,14-19/.

Л и т е р а т у р а

1. M. Sakai. Nucl. Phys., A104, 301 (1967).
2. Л.К. Пекер. Изв. АН СССР, сер. физ., 31, 1584 (1967).
3. В.Г. Калинин, Х.Л. Рави, П.Г. Хансен, Н.А. Лебедев. Препринт ОИЯИ Р6-4341 (1969).
4. Н.М. Антонова, Я. Врзал, Б.С. Джелепов, Г.С. Катыхин, Я. Липтак, Я. Урбанец. Препринт ОИЯИ, Р6-2888, Дубна, 1966.
5. Б.Н. Беляев, С.С. Василенко, В.С. Гвоздев. Ядерная физика, 8, 325 (1968).
6. V.J. Lombard, C.F. Perdrisat, I.H. Brunner. Nucl. Phys., A110, 41 (1968).
7. Л.Н. Абесалашвили, К.Я. Громов, Ж.Т. Желев, В.Г. Калинин, Я. Липтак, У.К. Назаров, Я. Урбанец. Препринт ОИЯИ, Р6-3348, Дубна, 1967; также Изв. АН СССР, сер. физ., 32, 793 (1968).
8. R.L. Graham and J.S. Geiger. Bull. Am. Phys. Soc., 11, 11 (1966).
9. W. Jones, L. Borgman, W.C. Parkinson and J. Bardwick. Bull. Am. Phys. Soc., 12, 1189 (1967).
10. M. Pho. Nucl. Phys., 65, 497 (1965).
11. A. Plastino, R. Arvieu and S.A. Moszkowski. Phys. Rev., 145, 837 (1966).
12. R.J. Lombard. Nucl. Phys., A117, 365 (1968).
13. D.R. Bes and R.A. Broglia. Nucl. Phys., 80, 289 (1966).
14. K. Gromow, I. Demeter, Sch. Schelew, W. Kalinnikow, Kim En Su, N. Lebedev, F. Molnar, W. Morosow, G. Pfrepper, W. Chalkin, E. Herrmann, D. Christov. Nucl. Phys., 88, 225 (1966), также препринт ОИЯИ, 2570, Дубна, (1966).
15. В.С. Бутцев, Ж.Т. Желев, В.Г. Калинин, А.В. Кудрявцева, Я. Липтак, Ф. Молнар, У. Назаров, Я. Урбанец. Препринт ОИЯИ, Р6-3541, Дубна, 1967.
16. К. Громов, В. Калинин, В. Кuznetsov, Н. Лебедев, Г. Musiol, Е. Herrmann, Zh. Zhelev, В. Dzhelepov, А. Kudryavtseva. Nucl. Phys., 73, 65 (1965).
17. М.П. Авотина, Ж.Т. Желев, В.Г. Калинин. Препринт ОИЯИ, № 2412, Дубна, 1965, стр. 48.
18. Ж.Т. Желев, В.Г. Калинин, Я. Липтак, Л.К. Пекер. Препринт ОИЯИ, Р6-3468, Дубна, 1967.
19. Ж.Т. Желев, В.Г. Калинин, Я. Липтак, Л.К. Пекер. Изв. АН СССР, сер. физ., 32, 1610 (1968), также препринт ОИЯИ, Р6-3823, Дубна, 1968.
20. A.R. Brosi, B.N. Ketelle, J.R. Van Hise, ORNL-3994, 1966.
21. D. Ward, F.S. Stephens, R.M. Diamond. Nucl. Phys., A117, 365 (1968).

Рукопись поступила в издательский отдел
2 апреля 1969 года.