

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

6 - 7118

Б - 936

БУТЦЕВ
Владимир Степанович

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ
ОКОЛОМАГИЧЕСКИХ ЯДЕР
В ОБЛАСТИ РЕДКИХ ЗЕМЕЛЬ ($Z > 50$, $N \leq 82$)
ПО ПРОГРАММЕ ЯСНАПП

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 1973

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем
Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук В. Г. Калининков

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук С. А. Баранов,

кандидат физико-математических наук Н. М. Пятов

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Радиевый институт им. Хлопина, Ленинград.

Автореферат разослан " " 1973 года.

Защита диссертации состоится " " 1973 года

в часов на заседании Ученого совета Лаборатории
ядерных проблем Объединенного института ядерных исследова-
ний, г. Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета

кандидат физико-математических наук

Д. А. Батусов

6 - 7118

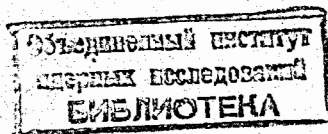
БУТЦЕВ
Владимир Степанович

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ
ОКОЛОМАГИЧЕСКИХ ЯДЕР
В ОБЛАСТИ РЕДКИХ ЗЕМЕЛЬ ($Z > 50$, $N \leq 82$)
ПО ПРОГРАММЕ ЯСНАП**

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)



В работе исследованы нейтронодефицитные ядра Nd , Pg и Ce . Такие ядра являются переходными между "магическими" с $N=82$ и ядрами так называемой "новой" области деформации^{/1/}.

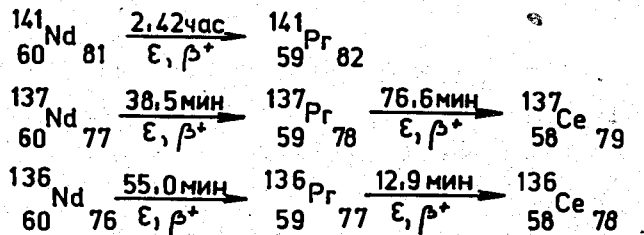
Некоторые свойства самых нижних уровней околомагических ядер с нечетным A удается объяснить моделью оболочек. Для более полного описания свойств полумагических ядер с $N=82$ в последние годы получили развитие модели^{/2,3/}, в которых учитывается "остаточное" взаимодействие протонов сверх инертного остова $Z=50$, $N=82$. Такое взаимодействие приводит к существованию ряда одно- и трехквизипротонных уровней.

Вызывает интерес изменение ядерных свойств с убыванием числа нейтронов от магического $N=82$. В таких ядрах, помимо возбужденных состояний протонной системы, нужно ожидать и уровни, обязанные как возбуждению нейтронной системы, так и коллективные (например, наложение вибраций четно-четного остова на одночастичное движение неспаренного нуклона).

Отсутствие детальных теоретических расчетов для четно-четных и нечетно-нечетных ядер с $N < 82$, $Z > 50$ заставляет использовать для описания их свойств феноменологические модели (вибрационная, квазиротационная в случае четно-четных ядер), либо использовать представления модели оболочек для идентификации двухчастичных мультиплетов.

Получение новых, более полных и точных данных о свойствах околомагических ядер важно как для проверки существующих моделей, так и для дальнейшего их совершенствования и развития.

Были тщательно изучены свойства нуклидов с массовыми числами: $A = 141, 137, 136$, генетически связанных радиоактивным распадом:



Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения.

В первой главе рассмотрены методические вопросы эксперимента: описывается получение радиоактивных источников, приборы, используемые в экспериментах, приводятся характеристики этих приборов, описываются методы обработки результатов измерений.

Изучавшиеся в работе изотопы Nd , Pr и Ce были получены при облучении мишеней из металлического Gd и в виде комплекса $(\text{NH}_4)_2[\text{Gd}(\text{DTPA})\text{H}_2\text{O}]$ на внутреннем и выведенном пучках протонов ($E_p = 660$ Мэв) синхротронного ОИЯИ. Время облучения составляло 1-2 часа и 15-20 минут соответственно. Радиохимически из облученных мишеней выделялись продукты расщепления^{/4/}. Затем с помощью электромагнитных сепараторов^{/5,6/} выделялись интересующие нас изотопы Nd , Pr и Ce .

Для исследования спектров рентгеновских и γ -лучей на базе полупроводниковых детекторов были созданы:

1. Рентгеновский спектрометр с $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектором объемом $0,7 \text{ см}^3$ с энергетическим разрешением 830 эв для $E_\gamma = 60$ кэв ${}^{241}\text{Am}$.

2. Гамма-спектрометры с $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторами объемом 27 см^3 и 47 см^3 с энергетическим разрешением 2,5-3,0 кэв для $E_\gamma = 1332$ кэв ${}^{60}\text{Co}$.

В работе применялись другие $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторы с чувствительными объемами 0,5, 10 и 40 см^3 с разрешением 650 эв для $E_\gamma = 25$ кэв ${}^{241}\text{Am}$, 1,7 кэв-3,0 кэв для $E_\gamma = 1332$ кэв ${}^{60}\text{Co}$ соответственно.

Совпадения γ -лучей изучались при помощи двухмерного спектрометра γ - γ -совпадений на базе ЭВМ "Минск-2" с разрешающим временем $2\tau = 140$ нсек^{/7/}.

Для исследования позитронного излучения и спектров электронов внутренней конверсии изотопов Nd , Pr и Ce использовались: спектрометр с двойной фокусировкой пучка на угол $2\sqrt{2}$ (разрешение 0,20% при светосиле $\approx 0,2\%$ от 4π , фон - менее 1 имп/сутки); четыре бета-спектрографа с постоянным однородным магнитным полем (разрешение 0,03-0,06% при светосиле $\approx 0,02\%$ от 4π); бета-спектрометр с однородным магнитным полем на базе $\text{Si}(\text{Li})$ -детектора (разрешение 2,5-3 кэв в области энергий до 1 Мэв).

Измерение времен жизни ядерных состояний проводилось на временном анализаторе с преобразователем "время-амплитуда" в режиме e - γ -задержанных совпадений^{/8/}.

Для обработки спектров в настоящей работе применялась система программ для ЭВМ "Минск-2", CDC -1604A и БЭСМ-6.

Во второй главе приводятся результаты исследования распада $^{141}\text{Nd} \rightarrow ^{141}\text{Pr}$ /9,10/. Всесторонне изучены спектры x -лучей, γ -лучей, γ - γ -совпадений, конверсионных электронов и позитронов при распаде ^{141}Nd ($2,42 \pm 0,09$) часа:

1. Определена граничная энергия позитронного излучения ^{141}Nd ($E_{\text{гр}} = 795 \pm 8$ кэв).
2. В гамма-спектре ^{141}Nd обнаружены ранее неизвестные линии 1289,6; 1306,0; 1310,6; 1435,10; 1456,1 кэв и определены их интенсивности. Кроме того, уточнены интенсивности многих ранее известных линий.
3. Экспериментальное определение величин α_K позволило установить типы мультипольностей следующих гамма-переходов: 1126,9 (M1+E2), 1147,3 (E2+ < 40%M1), 1292,6 (E2+ < 20%M1), 1298,6 (E2).
4. Введены новые состояния ^{141}Pr : 1434,7 ($3/2^+$) и 1456,1 ($5/2^+$) кэв, высвечивающиеся переходами 1289,6; 1434,6 кэв и 1310,6; 1456,1 кэв, соответственно (рис. 1). Установлены квантовые характеристики уровней магического ядра $^{141}_{59}\text{Pr}_{82}$: 1126,9 ($3/2^+$); 1292,6 ($5/2^+$); 1289,6 ($1/2^+$); 1570,2 ($5/2^+$); 1657,0 кэв ($1/2^+$).

Третья и четвертая главы посвящены результатам исследования распада нуклидов Nd и Pr с массовым числом $A = 137$.



1. Впервые масс-спектроскопически подтверждена идентификация ^{137}Nd и уточнен его период полураспада ($T_{1/2} = 38,5 \pm 1,5$) мин.
2. Измерена граничная энергия β^+ -спектра ^{137}Nd ($E_{\text{гр}} = 2400 \pm 40$ кэв).

3. Сведений о распаде ^{137}Nd ранее не было. Нам удалось обнаружить более 150 ранее неизвестных γ -переходов. Для 27 переходов экспериментально установлены типы мультипольностей.

4. Впервые предложена схема распада $^{137}\text{Nd} \rightarrow ^{137}\text{Pr}$ (рис. 2), в которой введено 37 новых уровней. Ряд уровней в схеме подтверждается результатами γ - γ -совпадений.

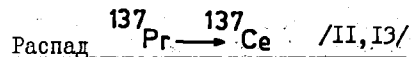
5. Впервые измерены времена жизни уровней 75,3 кэв ($T_{1/2} = 0,38 \pm 0,03$ нсек) и 306,4 кэв ($T_{1/2} = 0,5 \pm 0,2$ нсек).

6. В ядре ^{137}Pr идентифицированы одночастичные состояния $1g_{7/2}$ и $2d_{5/2}$. Обнаружены также "коллективные" уровни 313,4; 381,8; 761,5 кэв, обязанные наложению вибраций четно-четного остова на одночастичные состояния неспаренных нуклонов.

7. На примере ℓ -запрещенного перехода типа $1g_{7/2} \rightarrow 2d_{5/2}$ в ^{137}Pr показано, что с удалением от ядер с замкнутой нейтронной оболочкой $N = 82$ даже самые нижние одночастичные состояния имеют примеси других компонент.

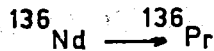
8. Выполнена систематика свойств первых возбужденных состояний в ядрах-изотомах с $N = 77$ (рис. 3), которая позволяет наглядно интерпретировать коллективные состояния типа (вибрация + s.p.).

9. Выявлена интересная закономерность в поведении величин Q_{β^+} β -переходов $d_{5/2} \rightleftharpoons d_{3/2}$ (рис. 4): значения Q_{β^+} ядер-изотонов с $N = 77, 79, 81$ ложатся на прямые параллельные линии.



1. Определена граничная энергия испускаемых позитронов $E_{gr} = (1680 \pm 10)$ кэв.
2. Измерены с большой точностью энергии и интенсивности 120 ранее неизвестных γ -переходов.
3. Экспериментально установлены типы мультипольностей γ -переходов 160,3 (MI + < 10% E2); 329,0 (MI); 353,7 (MI, E2); 402,4 (MI, E2); 433,9 (MI, E2); 514,0 (MI, E2); 836,6 (E2); 1088,6 (MI, E2) и 1096,9 кэв (MI).
4. В предлагаемую схему распада $^{137}\text{Pr} \rightarrow ^{137}\text{Ce}$ (рис. 5) введены новые уровни: 1105,2; 1258,9; 1271,5; 1288,5; 1476,6; 1925,2; 1933,9; 2113,4; 2437,2 и 2480,0 кэв. Существование ряда уровней подтверждается результатами γ - γ -совпадений.
5. Впервые измерено время жизни уровня 160,3 кэв $T_{1/2} = (0,79 \pm 0,14)$ нсек. Выявлена "аномалия" в вероятности e -запрещенного перехода $n(s_{1/2}) \rightarrow n(d_{3/2})$: переход 160,3 кэв необычно сильно заторможен $F_{\text{торн}}^{(MI)} = 287$.
6. В ядре ^{137}Ce обнаружен также ряд состояний коллективной природы.

Пятая глава посвящена изучению распада "цепочки" изобар Nd и Pr с $A = 136$ /I4-I7/.



1. Впервые масс-спектроскопически доказана правильность идентификации изотопа ^{136}Nd .

2. Определена граничная энергия позитронного излучения ^{136}Nd ($E_{gr} = 900 \pm 50$ кэв).

3. К распаду ^{136}Nd отнесено более 20 ранее неизвестных переходов. У ряда переходов определены типы мультипольностей: 130,9 (E2, MI); 144,5 (E1, MI, E2); 149,2 (MI, E2); 184,8 (E1, MI, E2); 294,7 (E2, MI); 390,4 (E2, MI); 535,1 (E2) и 574,8 кэв (MI, E2).

4. Впервые предлагается схема распада $^{136}\text{Nd} \rightarrow ^{136}\text{Pr}$ (рис. 6). В схему введены новые состояния 100,7 (1^+); 149,2 (1^+); 240,9 (0^+ , 2^+); 293,8 (1^+); 754,8, 971,9 и 1183,5 кэв. Для каждого уровня определены вероятности его заселения ($\epsilon + \beta^+$)-распадом и соответствующие $lgft$.

5. Некоторые "аномальные" состояния с $I^\pi = 1^+$ в ^{136}Pr интерпретируются как коллективные.



1. Масс-спектроскопически доказана правильность идентификации ^{136}Pr и уточнен его период полураспада ($T_{1/2} = 12,9 \pm 0,4$ мин), опровергнуто предположение о существовании 70-минутного изомера ^{136}Pr , сечение его образования в реакции глубокого расщепления Gd: $\sigma^m \leq 0,0056$ (Pr)

2. При распаде ^{136}Pr обнаружено около 80 ранее неизвестных переходов и определены их относительные интенсивности, у ряда переходов определены типы мультипольностей.

3. В схему распада ^{136}Pr (рис. 7) введены новые уровни 1076,1; 2827,7; 2941,7; 2991,5; 3011,2; 3200,5; 4023,3 кэв.

4. Приводится систематика энергий возбужденных состояний 0_2^+ , 2_2^+ , 4_1^+ , 5^- , 7^- в ядрах-изотонах с $N = 78$ и 80 (рис. 8), которая подтверждает коллективную и двух-квазинейтронную природу ряда уровней.

5. В четно-четном $^{136}_{58}\text{Ce}$ 78 выделены квазиротационные уровни основного состояния ($0(0^+)$, $552,2(2^+)$, $1313,0$ кэв (4^+), гамма-полосы ($1092,0(2^+)$ и $1553,0(3^+)$ и бета-полосы ($1076,1$ кэв (0^+)).

Таким образом, итоги проделанной работы сводятся к следующему:

1. На базе полупроводниковых детекторов были созданы:

а) рентгеновский спектрометр с $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектором $0,7 \text{ см}^3$ (энергетическое разрешение 830 эв для E_γ ^{241}Am);

б) α -спектрометры с $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторами с чувствительным объемом 27 и 47 см^3 (энергетическое разрешение $2,5+2,9$ кэв для E_α ^{60}Co).

2. Масс-спектроскопически доказана правильность идентификации ^{137}Nd , ^{137}Pr и ^{136}Pr , опровергнуто предположение о существовании активности с $T_{1/2} \approx 70$ мин в ^{136}Pr . Уточнено значение периодов полураспада ^{137}Nd ($T_{1/2} = 38,5 \pm 1,5$ мин) и ^{136}Pr ($T_{1/2} = 12,9 \pm 0,4$ мин).

С помощью совершенных β -спектрометров определены граничные энергии позитронного излучения ^{141}Nd ($E_{\text{гр}} = 795 \pm 8$ кэв), ^{137}Nd ($E_{\text{гр}} = 2400 \pm 40$ кэв), ^{137}Pr ($E_{\text{гр}} = 1680 \pm 10$ кэв), ^{136}Nd ($E_{\text{гр}} = 900 \pm 50$ кэв), ^{136}Pr ($E_{\text{гр}} = 2980 \pm 50$ кэв).

3. Тщательно изучены спектры x -лучей, γ -лучей, β - β -совпадений и электронов внутренней конверсии ^{141}Nd ,

^{137}Nd , ^{137}Pr , ^{136}Nd , ^{136}Pr . На основе полученных экспериментальных данных предложены впервые схемы распада ^{137}Nd и ^{136}Nd и значительно пересмотрены ранее предлагавшиеся схемы распада ^{141}Nd , ^{137}Pr , ^{136}Pr .

4. Свойства уровней полумагического ядра $^{141}_{59}\text{Pr}$ 82 об-суждаются по квазичастичным моделям $^{2,3/}$, в которых использовано приближение Тамма-Данкова (TDA) и остаточное взаимодействие выбрано в виде гауссиана и реалистического потенциала.

Мы показали, что расчетные характеристики весьма чувствительны как к выбору типа "остаточного" взаимодействия, так и к выбору собственных значений энергий одноквази-протонных состояний $1g_{7/2}$, $2d_{5/2}$, $2d_{3/2}$, $3s_{1/2}$, $1h_{11/2}$.

5. В ядрах ^{137}Nd , ^{137}Pr и ^{137}Ce впервые интерпретированы некоторые одночастичные состояния по модели оболочек. Мы обнаружили также уровни, природа которых обязана наложению вибраций четно-четного остова на одночастичные состояния неспаренных нуклонов.

6. На примере e -запрещенных переходов типа $1g_{7/2} \rightarrow 2d_{5/2}$ в ядрах ^{141}Nd и ^{137}Pr и $3s_{1/2} \rightarrow 2d_{3/2}$ в ядрах ^{137}Nd и ^{137}Ce показано, что с удалением от ядер с замкнутой нейтронной оболочкой ($N = 82$) даже самые нижние состояния имеют значительные примеси других компонент.

7. Для описания свойств четно-четного ядра $^{136}_{58}\text{Ce}$ 78 применены феноменологические модели (модель вибраций и квазиротационная модель). Выявлены новые аргументы, подтверждающие существование коллективных состояний в ^{136}Ce .

8. Большинство уровней нечетно-нечетного ядра $^{136}_{59}\text{Pr}_{77}$ не удается описать в рамках простых моделей для сферических ядер. Мы предлагаем рассматривать "аномальные" состояния с $I^\pi = 1^+$ в ^{136}Pr в рамках модели, учитывающей наложения вибраций четно-четного остова на одночастичные состояния неспаренных нуклонов. Показано, что при описании скорости бета-распада ^{136}Pr на уровни с $I^\pi = 2^+_1, 2^+_2, 3^+_1$ даже небольшая деформация этих ядер ($\epsilon \approx 0,10-0,15$) может играть значительную роль.

Таким образом, на примере изучавшихся ядер $Z > 50, N \leq 82$ показана тенденция развития современных моделей. Мы видим, что "полумикроскопические" модели идут по пути, схожему с теорией сильнодеформированных ядер, т.е. постепенно усложняются, включая в рассмотрение кроме одночастичного движения также двух- и трехквaziчастичное, а также связь одночастичного движения с коллективным.

Диссертационная работа выполнена в Отделе ядерной спектроскопии и радиохимии Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований. Основные результаты исследований, изложенные в диссертации, были доложены на XII совещании по ядерной спектроскопии и теории деформированных ядер (Дубна, 1971), на XXI и XXIII ежегодных всесоюзных совещаниях по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (Москва, 1971, Тбилиси, 1973), а также опубликованы в печати /9-17/.

Литература

1. В.Г.Соловьев. Теория сложных ядер. "Наука", М., 1971.
2. M.Waroguer, K.Neyde. Nucl.Phys., A167, 545 (1971).
3. N.Freed, W.Miles. Nucl.Phys., A158, 230 (1970).
4. G.J.Beyer, H.Grosse-Ruyken, V.A.Khalkin, G.Pfrepfer. J. Inorg. Nucl. Chem., 31, 2135 (1969).
5. В.П.Афанасьев, А.Т.Василенко и др. ОИЯИ, 13-4763, Дубна, 1969.
6. G.J.Beyer, E.Herrmann, A.Piotrowski, V.J.Raiko, H.Turgroff. Nucl.Instr.& Meth., 96, 437 (1971).
7. В.С.Александров, Ф.Дуда и др. ОИЯИ, 13-4274, Дубна, 1969; Изв. АН СССР, сер.физ., 35, 1618 (1972).
8. В.А.Морозов, Т.М.Муминов. ПТЭ, №2, 53 (1970).
9. В.С.Бутцев, И.И.Громова, В.Г.Калинников, Н.А.Тихонов. Тезисы докладов XII совещания по ядерной спектроскопии и теории ядра, Дб-5783, стр. 103, Дубна, 1971.
10. В.С.Бутцев, К.Я.Громов, В.Г.Калинников. ОИЯИ, Рб-6519, Дубна, 1972; Изв. АН СССР, сер.физ., 37, №5 (1973).
11. В.С.Бутцев, Р.Бабаджанов, И.И.Громова, В.Г.Калинников, Н.А.Тихонов. Программа и тезисы докладов XXI совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Москва, 1971.
12. В.С.Бутцев, Ц.Вылов, К.Я.Громов, В.Г.Калинников, И.И.Громова, В.А.Морозов, Т.М.Муминов, Х.Фуя, А.Б.Халикулов. ОИЯИ, Рб-6804, Дубна, 1972; Изв. АН СССР, сер.физ., 37, №5 (1973).
13. В.С.Бутцев, К.Я.Громов, В.Г.Калинников, В.А.Морозов, Т.М.Муминов, А.Б.Халикулов. ОИЯИ, Рб-6651, Дубна, 1972; Изв. АН СССР, сер.физ., 37, №5 (1973).
14. Г.Д.Байер, В.С.Бутцев, В.Г.Калинников, Н.А.Тихонов, Х.Тыррофф, Э.Херрманн. Тезисы докладов XII совещания по ядерной спектроскопии и теории ядра. Дб-5783, стр. 98, Дубна, 1971.

15. В.П.Афанасьев, В.С.Бутцев, В.Г.Калинников, Н.А.Тихонов.
Программа и тезисы докладов XXI совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Москва, "Наука", Ленинград, ч. I, стр. 79, 1971.
16. В.С.Бутцев, Ц.Вылов, К.Я.Громов, В.Г.Калинников.
ОИЯИ, Р6-6876, Дубна, 1972.
17. В.С.Бутцев, Ц.Вылов, К.Я.Громов, В.Г.Калинников.
Программа и тезисы докладов XXIII совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Тбилиси, Изд-во "Наука, Ленинград, стр. 74, 1973.
18. D.A.Arseniev, A.Sobiozewski, V.G.Soloviev.
Nucl. Phys., A126, 15 (1969).

Рукопись поступила в издательский отдел
26 апреля 1973 года.

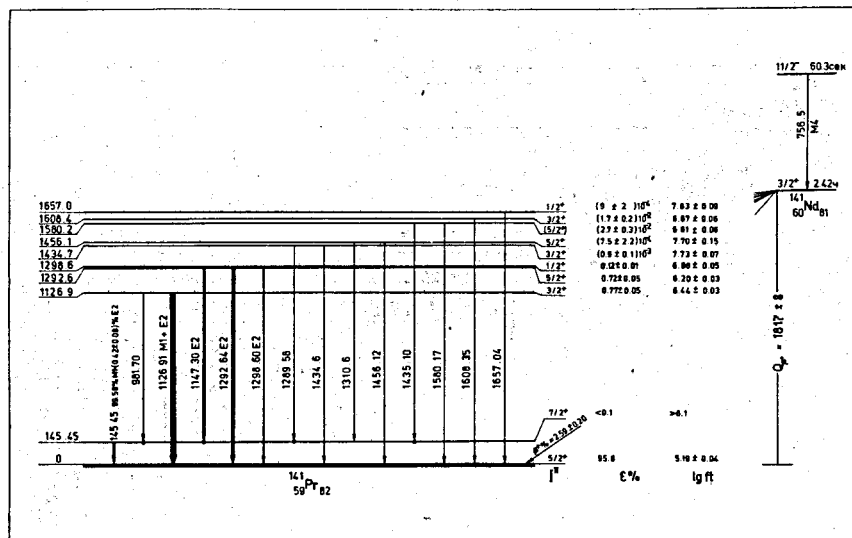


Рис. I. Схема распада ^{141}Nd (2,42 часа).

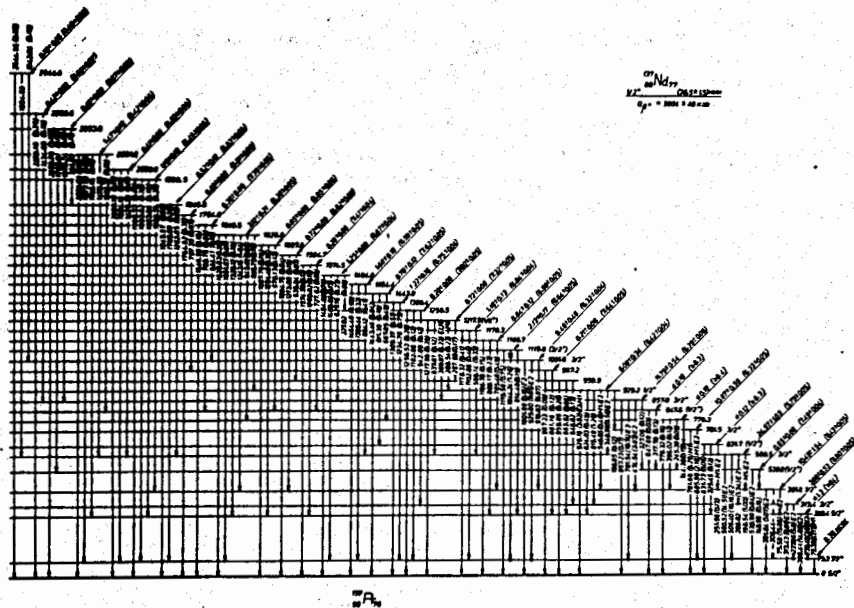


Рис. 2. Схема распада ^{137}Nd (38,5 мин).

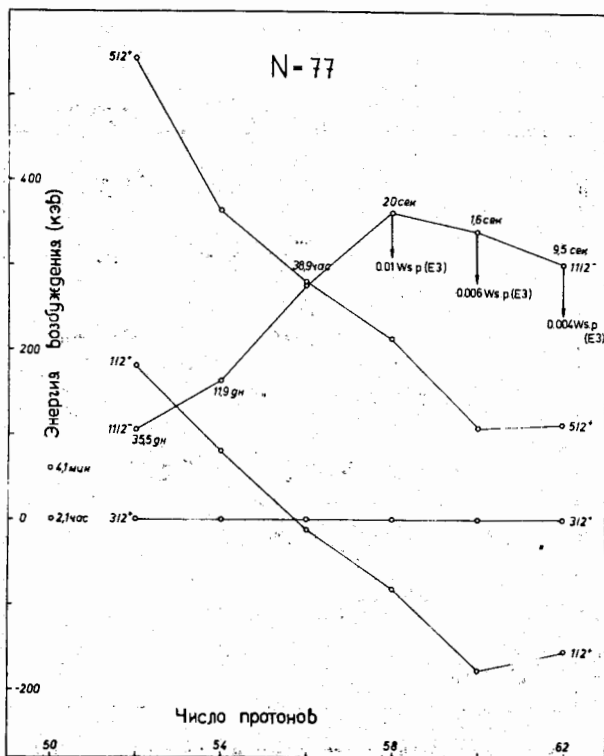


Рис. 3. Систематика свойств первых возбужденных состояний в изотонах с $N = 77$.

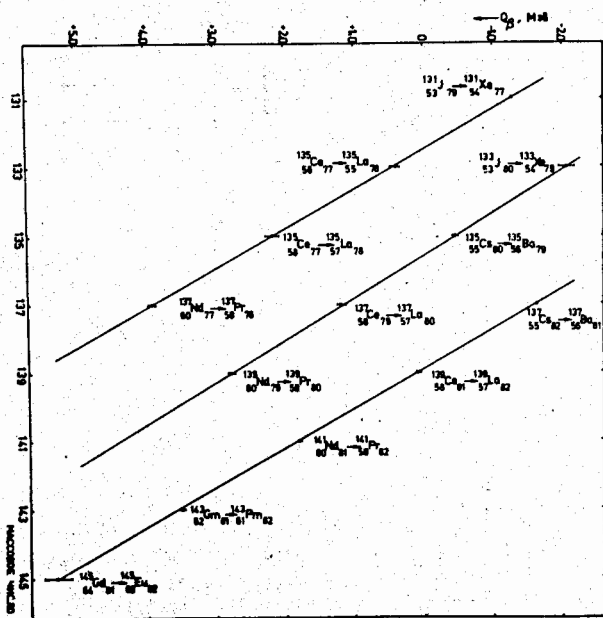


Рис. 4. Систематика энергий переходов типа $d^{5/2} \Rightarrow d^{3/2}$ для ядер изотонов с $N = 77, 79, 81$.

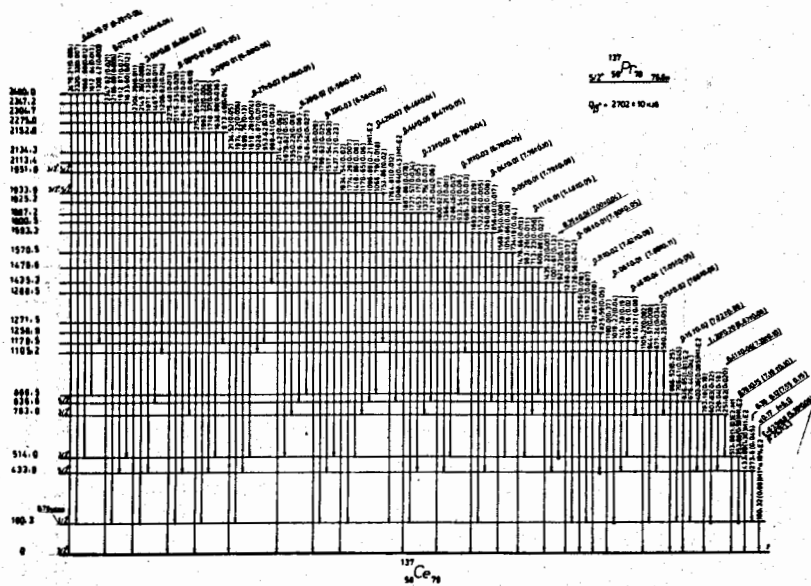


Рис. 5. Схема распада ^{137}Pr (76,6 мин).

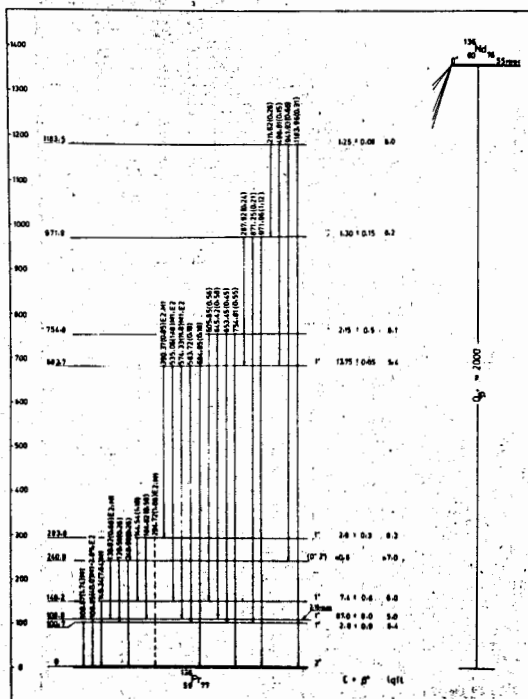


Рис. 6. Схема распада ^{136}Nd (55,0 мин).

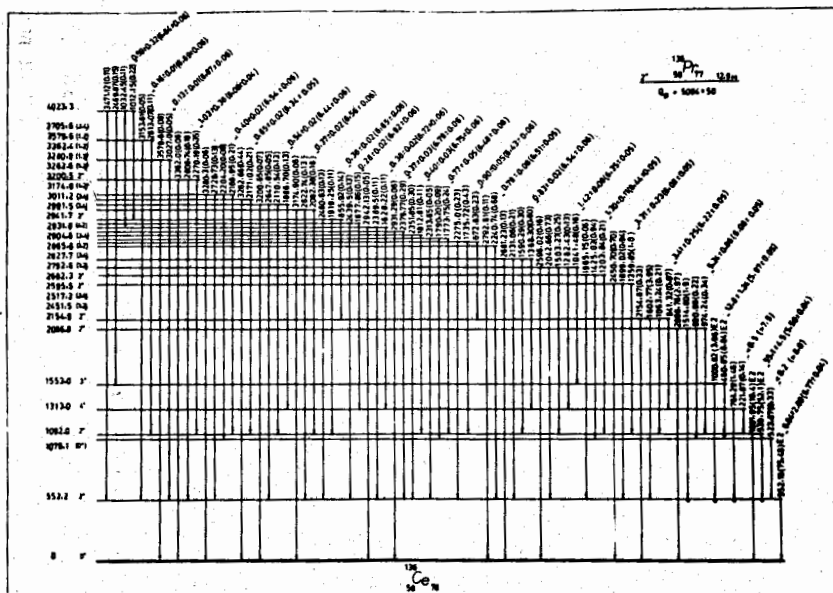


Рис. 7. Схема распада ^{136}Pr (12,9 мин).

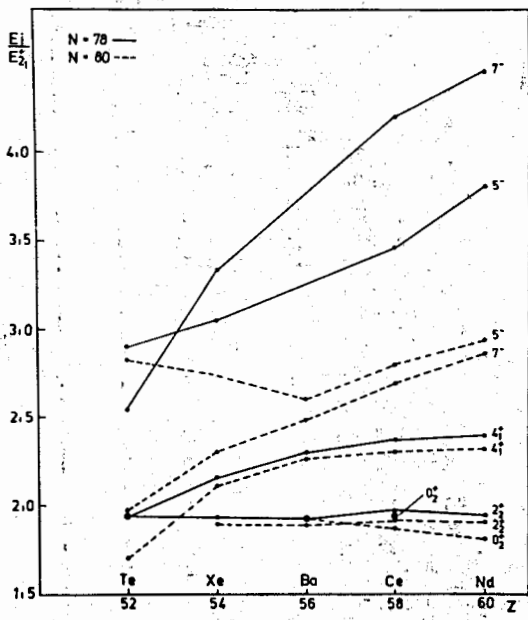


Рис. 8. Систематика энергий возбужденных состояний 0^+ , 2^+ , 4^+ , 5^- , 7^- в ядрах-изотонах с $N=78$ и 80 .