

18/

A-828

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна.

6 - 5138



Р. Арльт, Н.Г. Зайцева, Б. Крацик, М.Г. Лоцилов,
Г. Музиоль, Чан Тхань Минь, Х. Штрусный

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

О РАСПАДЕ ^{89}Zr И ^{87}Zr

1970

Р. Арлыт, Н.Г. Зайцева, Б. Крацик, М.Г. Лоцилов,
Г. Музисоль, Чан Тхань Минь, Х. Штрусный

О РАСПАДЕ ^{89}Zr И ^{87}Zr

Направлено в "Изв. АН СССР"

8457/2 149

А. Исследование распада ^{89}Zr

1. Введение

Бета- и гамма-спектры изомеров ^{89m}Zr ($T_{1/2} = 4,18$ мин) и ^{89}Zr ($T_{1/2} = 78,4$ часа) изучались рядом авторов [1-6], причем исследование гамма-спектра проводилось только с помощью сцинтилляционной техники.

Настоящая работа посвящена исследованию распада этих изомеров с помощью гамма-спектрометра с Ge(Li) -детекторами. На основании полученных данных нами дополнены и уточнены схемы возбужденных уровней ^{89}Y .

2. Условия и результаты эксперимента

2.1. Получение источников ^{89}Zr

Радиоактивные изотопы циркония, использовавшиеся для изучения ^{89}Zr (78,4 часа), получались при облучении мишеней из окиси иттрия и металлического ниобия внутренним пучком протонов с энергией 120 и 660 Мэв, соответственно, на синхроциклотроне ОИЯИ в течение 20-30 минут.

Радиохимически чистый цирконий выделялся из смеси продуктов реакций глубокого расщепления окиси иттрия методом экстракции с последующей дополнительной очисткой^{/7/}.

Из смеси продуктов реакций глубокого расщепления ниобия радио-химически чистый цирконий выделялся по методике, описанной в рабо-тах^{/8,9/}, за исключением того, что солянокислый раствор, полученный после растворения гидроокиси, не наносился на хроматографическую ко-лонку, а доводился до 2М по HClO_4 и 0,01М по $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ и цир-коний экстрагировался из этого раствора теноилтрифторацетоном (0,5М ТТА в ксилоле). Спустя примерно 10 дней после конца облучения про-водилась конечная операция по очистке циркония, заключающаяся в про-мывке органического раствора 2М HNO_3 , содержащей по ≈ 1 мг Y , Sr и Rb в качестве удерживающих носителей.

Помимо ^{89}Zr , в источнике содержался только ^{88}Zr (85 дн.) и его дочерний изотоп ^{88}Y (105 дн.), количество которого медленно нарастало.

Короткоживущий изотоп (4,18 мин) $^{89\text{m}}\text{Zr}$ изучался отдельно в це-почке распада $^{89\text{m}}\text{Nb} \xrightarrow[1,9 \text{ час}]{48 \text{ мин.}} ^{89\text{m}}\text{Zr} \xrightarrow[10/]{4,18 \text{ мин.}} ^{89}\text{Y}$. Метод получения ^{89}Nb описан в работе

2.2. Аппаратура и результаты измерения

Для измерения гамма-спектров $^{89\text{m}}\text{Zr}$ были использованы два детектора типа $\text{Ge}(\text{Li})$ с чувствительными объемами 6,3 и 10 см³ с энергетическим разрешением 4-5 кэВ для гамма-переходов ^{60}Co . Амплитудный анализ осуществлялся 4096-канальным анализатором.

На рис. 1 изображен гамма-спектр ^{89}Zr (78,4 часа). Кроме известных лучей с энергиями 908, 1620 и 1712 кэВ, был обнаружен переход с энергией 1744 кэВ, наблюдавшийся до этого только в ядерных реакциях^{/11/}, и ранее неизвестный переход 1657 кэВ.

В гамма-спектре ^{89m}Zr (4,18 мин) зарегистрированы известные линии с энергиями 587,6 и 1507 кэВ.

Относительные и абсолютные интенсивности наблюдаемых переходов приводятся в табл. 1.

3. Схема распада и квантовые характеристики уровней

3.1. Схема распада

На рис. 2 изображена схема распада изомеров ^{89}Zr . Наши данные позволяют уточнить энергии известных уровней 908, 2528 и 2620 кэВ при распаде ^{89}Zr , 1507 кэВ при распаде ^{89m}Zr и добавить в схему распада ^{89}Zr уровень 1744 кэВ, раньше известный только по ядерной реакции.

Исходя из энергии распада ($Q = 2827$ кэВ, см. ниже) и интенсивности γ -переходов 1657 кэВ мы считаем наиболее вероятным, что этот переход идет на уровень 908 кэВ ($9/2^+$). Поэтому следует дополнить схему распада ^{89}Zr уровнем 2565 кэВ.

В наших измерениях мы не получили никаких данных, которые бы свидетельствовали о возбуждении уровня 2220 кэВ ($5/2^+$) при распаде ^{89}Zr , известного из ядерных реакций $^{111}/$. Это может быть связано с высокой степенью запрета бета-распада из состояния $9/2^+$ ^{89}Zr .

Интенсивность заселения возбужденных уровней ^{89}Y при распаде ^{89}Zr (78,4 часа) — в относительных единицах — была получена как разница относительных интенсивностей уходящих и приходящих гамма-переходов на те же уровни. Положив, что сумма интенсивностей переходов 908 и 1744 кэВ, идущих на основное состояние, равна 100%, мы получили абсолютные значения интенсивностей отдельных компонент бета-распада и электронного захвата, а отсюда также гамма-переходов. Отно-

шения ϵ/β^+ были оценены по теоретическим значениям для разрешенных переходов. При этом для разности масс ^{89}Zr и ^{89}Y было принято значение 2827 кэв^{4/}.

Разветвление распада $^{89\text{m}}\text{Zr}$ было определено по полученным относительным интенсивностям гамма-переходов 587,6 кэв и 1507 кэв и по известному^{12/} отношению интенсивностей бета-перехода, идущего на основное состояние ^{89}Y и гамма-перехода 587,6 кэв ($\beta^+ 2400/\gamma 588 = 0,0027$).

На основе этих данных были вычислены значения l_{gft} , которые вместе с интенсивностями бета- и гамма-переходов приводятся в схеме распада.

3.2. Квантовые характеристики уровней

Спины и чётности $1/2^-$, $9/2^+$, $3/2^-$, $5/2^-$, $7/2^+$, $9/2^+$ основного и возбужденных состояний 909, 1507, 1744, 2528 и 2620 кэв, соответственно, были хорошо известны^{11/}. Наши данные не противоречат этим результатам. Что касается уровня $5/2^-$ (1774 кэв), то бета-распад должен быть уникальным первой степени запрета ($\Delta I = 2$, $\Delta \pi = +1$). В согласии с этим находится полученное нами значение $l_{\text{gft}} = 8,3$.

Значение $l_{\text{gft}} = 7,15$ свидетельствует о том, что соответствующий бета-переход на уровень 2565 кэв может удовлетворять правилам отбора: $\Delta I = 0,1$ и $\Delta \pi = \pm 1$; т.е. можно ожидать у этого уровня $I^\pi = (7/2, 9/2, 11/2)^+$. Однако в данной области ядер такое значение l_{gft} соответствует, скорее, разрешенному переходу с $\Delta I = 0,1$ и $\Delta \pi = +1$.

4. О природе состояний ^{89}Y

Ядро $^{89}_{39}\text{Y}$ содержит "магическое" число нейтронов ($N = 50$) и 39 протонов, причем нечётный протон лежит вне заполненных подоболочек $2p_{3/2}$ и $1f_{5/2}$. Поэтому в нем возможно существование одночастич-

ных состояний $P\ 1/2$, $g\ 9/2$ и однодырочных - $(P\ 3/2)^{-1}$; $(f\ 5/2)^{-1}$. Можно отождествить их с наблюдаемыми уровнями $0(1/2^-)$, $908(9/2^+)$; $1507(3/2^-)$ и 1744 кэв $(5/2^-)$. Не исключена возможность, что в последних двух уровнях есть вклад состояний, возникающих вследствие взаимодействия протона $P\ 1/2$ с возбужденным остовом 2^+ (${}^{88}_{38}Y_{50}$).

Уровни 908 кэв $(9/2^+)$ и 2620 кэв $(9/2^+)$ заселяются $\beta^+-\epsilon$ -переходами с близкими значениями $\lg ft = 6,1$. Поэтому возможно, что они имеют сходную структуру. Различие между ними может быть обусловлено тем, что при возбуждении уровня 2620 кэв два протона переходят с подболочки $P\ 3/2$ на подболочку $P\ 1/2$, т.е. этот уровень может быть охарактеризован конфигурацией $P(P\ 3/2)^{-2} P(P\ 1/2)^2 P(g\ 9/2)^1$. Остальные уровни можно попытаться интерпретировать в рамках модели возбужденного остова де Шалита $^{12/}$ как результат слабой связи протона $g\ 9/2$ с возбужденным остовом ядра-ядром ${}^{88}_{38}Sr_{50}$, находящимся в состоянии 2^+ . Вследствие этой связи в ${}^{89}_{39}Y_{50}$ должен появиться квинтет возбужденных уровней с квантовыми характеристиками $5/2^+$, $7/2^+$, $9/2^+$, $11/2^+$ и $13/2^+$. Ожидаемое положение его центра тяжести находится в согласии с предсказаниями $^{12/}$ на высоте возбужденного уровня 2^+ в ${}^{88}Sr$, увеличенной на энергию уровня $9/2^+$ в ${}^{89}Y$, т.е. на высоте $1835+908=2743$ кэв.

Возможно, что уровни 2220 кэв $(5/2^+)$; 2528 кэв $(7/2^+)$ и 2565 кэв $(9/2^+, 11/2^+)$ являются тремя членами этого квинтета. Его остальные два члена $11/2^+$ (или $9/2^+$) и $13/2^+$ могут находиться на высоте, большей, чем энергия бета-распада (2830 кэв).

Б. Исследование распада ${}^{87}Zr$

1. Введение

Опубликованные до настоящего времени данные исследований распада ${}^{87}Zr$ ($T_{1/2} = 94$ мин) носят противоречивый характер $^{3,13-15/}$.

В работах ^{/3,13/} дается указание на гамма-излучение $E_\gamma = 350$ и 650 кэВ, сопровождающее распад ^{87}Zr . Однако в более поздней работе ^{/6/} это гамма-излучение не было зарегистрировано. В работах ^{/6,13/} были обнаружены гамма-лучи с энергиями $1,2$ и $2,2$ МэВ. Но в работе Басковой и др. ^{/14/} никаких γ -лучей, принадлежащих распаду ^{87}Zr , не было обнаружено и был найден лишь один бета-переход между основным уровнем ^{87}Zr и изомерным ^{87}Y .

Для выяснения схемы распада этого изотопа и была предпринята настоящая работа. Гамма-спектр ^{87}Zr измерялся на $\text{Ge}(\text{Li})$ -спектрометре, и на основании полученных результатов была предложена его схема распада.

2. Условия и результаты эксперимента

Изотоп ^{87}Zr получался при облучении мишеней из окиси иттрия и металлического ниобия протонами с энергией 120 и 660 МэВ, соответственно, на внутреннем пучке синхроциклотрона ОИЯИ с последующим химическим выделением, описанным в разделе А настоящей работы.

Условия измерений гамма-спектра ^{87}Zr также аналогичны тем, которые указаны в разделе А.

Измерения начинались спустя примерно $1-2$ часа после конца облучений. На рис. 3 изображены отдельные участки гамма-спектра ^{87}Zr . Данные об энергиях и интенсивностях гамма-переходов приведены в табл. 2.

Помимо ^{87}Zr , в исследуемых источниках присутствовали также ^{89}Zr ($78,4$ час), ^{86}Zr ($16,5$ час) и его дочерний изотоп ^{86}Y . Что касается ^{89}Zr и ^{86}Zr , то их спектры просты и хорошо известны ^{/10,11/}, так что вычестить их вклад из общего спектра не представляло никакой трудности. Более сложной оказалась задача учесть вклад ^{86}Y ^{/11/}, спектр которого необычно богат. В некоторых случаях его присутствие затрудняло анализ гамма-спектра ^{87}Zr .

3. Схема распада и квантовые характеристики уровней

3.1. Схема распада

Некоторые сведения о возбужденных уровнях $^{87}_{39}\text{Y}_{50}$ давало до сих пор только изучение ядерных реакций (p, α) ; (p, t) $^{11}/^{15}/$ и (p, γ) $^{15}/$ (см. рис. 4). Наши данные о γ -излучении, сопровождающем β^+ -распад позволяют выявить ряд новых уровней ^{87}Y .

Нужно отметить, что ядра $^{87}_{39}\text{Y}_{48}$ и $^{89}_{39}\text{Y}_{50}$ отличаются только тем, что в ^{87}Y не хватает двух нейтронов до заполнения оболочки $1. \frac{1}{2} 9/2$. Поэтому можно ожидать, что состояния, существующие в ядре ^{89}Y , должны также проявляться в ядре ^{87}Y . Кроме этого, в связи с присутствием двух дырок в ^{87}Y и с большей энергией распада ^{87}Zr , чем у ^{89}Zr , спектр возбужденных уровней ^{87}Y должен быть богаче, чем в случае ^{89}Y .

На основе аналогии с ядром ^{89}Y , результатов изучения ядерных реакций $^{11}/^{11}/$ и баланса энергий и интенсивностей предлагается схема распада ^{87}Zr , которая представлена на рис. 4.

Интенсивность заселения возбужденных уровней ^{87}Y при распаде ^{87}Zr , так же как для ^{89}Y , получалась как разница интенсивностей уходящих и приходящих гамма-квантов на те же уровни.

В этом случае, однако, подсчет баланса интенсивностей будет немного сложнее, так как распад ^{87}Zr в основном идет через 14-часовой изомер ^{87}Y (381 кэВ).

Обозначим символом N_{γ} то число атомов ^{87}Zr , которое связано с излучением гамма-квантов γ . Для гамма-переходов γ_i , где индексом i обозначены переходы 796, 2616, 2220, 1228, 1210 и 1202 кэВ, справедливо выражение (постоянный множитель, определенный геометрией детектор-источник, опущен)

$$J_{\gamma_i}(t) = \lambda_i N_{\gamma_i} e^{-\lambda_i t}$$

и для перехода 381 кэв - выражение

$$J_{381}(t) = \lambda_2 N_{381} \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}),$$

где $J_{\gamma_i}(t)$ - наблюдаемая относительная интенсивность соответствующего гамма-перехода в момент времени t . λ_1, λ_2 - постоянные распада ^{87}Zr и $^{87\text{m}}\text{Y}$, соответственно. При этом за начало отсчёта времени ($t=0$) нужно считать момент химического выделения ^{87}Zr , т.е. момент, когда в препарате отсутствует дочерний $^{87\text{m}}\text{Y}$. Интенсивность заселения уровня 381 кэв тогда будет равна разности $N_{381} - \sum_i N_{\gamma_i}$. Сумма интенсивностей γ -переходов в основное состояние была принята за 100%. Значения нормализованных интенсивностей всех γ -переходов представлены в третьем столбце табл. 2.

Последующие вычисления проводятся таким же образом, как в случае ^{89}Zr . При этом для полной энергии распада ^{87}Zr принято значение 3683 кэв^{14/}. Полученные значения $\lg ft$ вместе с интенсивностями бета- и гамма-переходов, приводятся в схеме распада.

3.2. Квантовые характеристики уровней

Были известны^{11/} спин и чётность $I^\pi = 1/2^-$ и $9/2^+$ у основного и изомерного состояний ^{87}Y . По предсказанию модели оболочек и по аналогии с соседними ядрами $^{85}\text{Sr}_{47}$, $^{89}\text{Zr}_{49}$ и т.д. можно ожидать $I^\pi = 9/2^+$ у основного состояния ^{87}Zr . Это согласуется с полученным значением $\lg ft \approx 5,6$ для бета-перехода $9/2^+ (^{87}\text{Zr}) \rightarrow 9/2^+ (^{87\text{m}}\text{Y})$.

Судя по сходной картине заселения и разрядки возбужденных уровней $^{87,89}\text{Y}$, можно предполагать, что возбужденные уровни ^{87}Y 793; 1583; 1591 и 1609 кэв и уровни ^{89}Y 1744; 2528; 2565 и 2620 кэв, соответственно, имеют одинаковую структуру. Следовательно, можно ожидать, по аналогии с соответствующими уровнями ^{89}Y , спины

и четность $5/2^-$, $(9/2, 7/2)^+$, $(7/2 \ 9/2 \ 11/2)^+$ и $9/2^+$ для уровней ^{87}Y 793; 1583; 1591 и 1609 кэВ, соответственно.

Нам кажется, что уровень 580 кэВ, найденный в реакции авторами ^{10/}, и 1177 кэВ также аналогичны уровням 1506 кэВ ($3/2^-$) и 2220 кэВ ($5/2^+$) в ядре ^{89}Y , т.е. они могут иметь $I^\pi = 3/2^-$ и $5/2^+$, соответственно.

С приписаниями квантовых характеристик обсужденным уровням согласуются полученные значения $\lg ft$ соответствующих β^+ -переходов. Значение $\lg ft < 6$ свидетельствует о том, что соответствующие β -переходы относятся к разрешенному типу и, следовательно, уровни 2601; 2997 и 3342 кэВ, заселяемые β -переходами из состояния $9/2^+$ (^{87}Zr) с $\lg ft < 6$, должны иметь $I^\pi = 7/2^+$; $9/2^+$ или $11/2^+$. Однако возможность $I^\pi = 11/2^+$ можно для них исключить, обращая внимание на их прямую разрядку на уровни $5/2^+$.

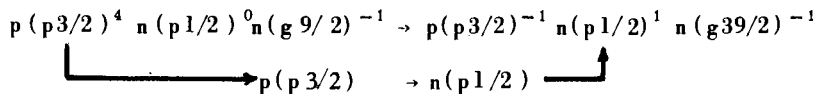
4. О природе состояний ^{87}Y

По аналогии с уровнями ^{89}Y можно рассматривать уровни ^{87}Y 0 кэВ ($1/2^-$); 381 кэВ ($9/2^+$); 580 кэВ ($3/2^-$) и 793 кэВ ($5/2^-$) как частичные состояния $p\ 1/2$; $g\ 9/2$; ($p\ 3/2$)⁻¹ и ($f\ 5/2$)⁻¹, соответственно.

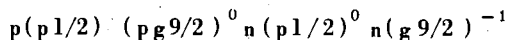
Уровни 1609 кэВ ($9/2^+$) и 381 кэВ ($9/2^+$) заселяются переходами с близкими $\lg ft$ (5,6 и 5,9). Поэтому, возможно, что они имеют сходную природу.

Уровни 1177 кэВ ($5/2^+$); 1583 кэВ ($7/2, 9/2$)⁺; 1591 кэВ ($7/2 \ 9/2 \ 11/2$)⁺ можно интерпретировать как три члена квинтета слабой связи протона $g\ 9/2$ с возбужденным остовом ядра - ядром $^{86}_{38}\text{Sr}_{48}$, находящимся в состоянии 2^+ . Видно, что эти уровни находятся близко к предсказанному центру тяжести мультиплета $2^+ + 9/2$ (1076 кэВ + 381 кэВ = 1457 кэВ).

Так же, как в соседних ядрах ^{85}Sr /16/ и ^{89}Zr /10/, в ядре ^{87}Y можно предполагать существование трехчастичных уровней типа $p(p\ 3/2)^{-1} n(p\ 1/2)^1 n(g\ 9/2)^{-1}$, возникающих при β^+ -распаде ^{87}Zr путем превращения $p(p\ 3/2) \rightarrow n(p\ 1/2)$:



с соответствующим значением $\lg ft \leq 5,5$. Однако в случае распада ^{87}Zr значение $\lg ft$ может быть немного повышено из-за того, что основное состояние можно, по-видимому, представить в виде смеси конфигураций, причем только конфигурация



будет принимать участие в вышеуказанном β -превращении. Не исключено, что некоторые из уровней 2601, 2997 и 3342 кэВ являются трехчастичными и приведенного типа.

Наши предварительные данные о распаде ^{89}Zr и ^{87}Zr были опубликованы в работах /17/ /18/, соответственно. Нужно добавить, что после окончания обработки наших экспериментальных данных и их отправки на XIX Совещание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра в Ереване появлялись работы /19,20,21/ о распаде ^{89}Zr , результаты которых вполне согласуются с нашими результатами. Авторы благодарят Чыонг-Бьена за помощь в проведении эксперимента.

Л и т е р а т у р а

1. F.J. Shore, W.L. Bendel, H.N. Brown, R.A. Becker. Phys. Rev., 91, 1203 (1953); 87, 195, 202 (1952); 83, 688 (1951).
2. D.M. Van Patter, S.M. Shafroth. Nucl. Phys., 50, 113 (1964).

3. E.K. Hyde, G.D. O'Kelley. Phys. Rev., 82, 944 (1951).
4. J.H. Hamilton, L.M. Langer, W.G. Smith. Phys. Rev., 119, 772 (1960).
5. S. Monaro, G.B. Vingiani, R. Van Lieshout. Physica, 27, 985 (1961).
6. Y. Awaya, Y. Tendow, J. Phys. Soc. Japan, 19, 606 (1964).
7. Н.Г. Зайцева, В.В. Кузнецов, М.Я. Кузнецова, Ма Хо Ик, Г. Музиоль, Хань Шу-жунь, Чжоу Мо-лун, В.Г. Чумин. Ядерная физика, 1, 385 (1965).
8. Н.Г. Зайцева, Чжоу Мо-лун. Радиохимия, 4, 738 (1962).
9. Н.Г. Зайцева, Чжоу Мо-лун. Тезисы докладов XIII ежегодного совещания по ядерной спектроскопии в Киеве, стр. 28. Изд-во АН СССР, М.-Л., 1963.
10. Р. Арльт, Н.Г. Зайцева, Б. Крацик, Г. Музиоль, Л.К. Пекер, Чан Тхань Минь. Препринт ОИЯИ, 6-5088, Дубна, 1970.
11. Б.С. Джелепов, Л.К. Пекер. Схемы распада радиоактивных ядер. Изд. "Наука", Ленинград, 1966.
12. A. de Shalit. Phys. Rev., 122, 1530 (1961).
13. F.D.S. Butement, G.B. Briscoe. J. Inorg. Nucl. Chem., 25, 151 (1963).
14. К.А. Баскова, С.С. Васильев и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 29, 2255 (1967).
15. J.L. Irigaray, M. Asghar, J. Dalmas, G.Y. Petit, J. Roturier. Nucl. Phys., A136 631-640 (1969).
16. Р. Арльт, Н.Г. Зайцева, Б. Крацик, М.Г. Лошилов, Г. Музиоль, Чан Тхань Минь. Препринт ОИЯИ, 6-5093, Дубна, 1970.
17. Н.Г. Зайцева, Б. Крацик, М.Г. Лошилов, Г. Музиоль, Чан Тхань Минь. Программа и тезисы доклада XIX ежегодного совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Изд. "Наука", 59 (1969).
18. R. Arlt, B. Kracik, M. Loshchilov, G. Musiol, H. Strusny, Tran Thanh Minh, N.G. Zaitseva, Conf. Int. Symp. Nucl. Structure, Dubna, 10 (1968).

19. P.F.Hinrichsen. Nucl. Phys., A118 538 (1968).
20. J.E.Draper, J.A.McCray, Nucl. Phys., A120 234 (1968).
21. E.L.Robinson, R.C.Hagenauer, E.Eichler. Nucl. Phys., A123 471 (1969).

Рукопись поступила в издательский отдел

26 мая 1970 года.

Таблица 1
Энергии и интенсивности γ -лучей ^{89}Zr

Изомер	Энергия (кэВ)	Относительная интенсивность	Интенсивность на 100% распадов
^{89}Zr $T_{1/2} = 78,4$ час	908 \pm 1	100	99,86
	1620 \pm 1	0,08 \pm 0,01	0,08 \pm 0,01
	1657 \pm 1	0,12 \pm 0,01	0,12 \pm 0,01
	1712 \pm 1	0,86 \pm 0,05	0,86 \pm 0,05
	1774 \pm 1	0,14 \pm 0,01	0,14 \pm 0,01
^{89m}Zr $T_{1/2} = 4,18$ мин	587,6 \pm 0,5	100	93,1
	1507 \pm 1	7,1 \pm 0,5	6,62 \pm 0,40

Таблица 2
Энергии и интенсивности γ -лучей ^{87}Zr

Энергия (кэВ)	Относительная интенсивность	Интенсивность на 100% распадов
771±1	4±2	0,15±0,08
793±2	15±3	0,56±0,11
796±2	5±2	0,19±0,08
(973±2)	≤ 6±3	≤ 0,2
1160±1	7±1	0,27±0,04
1202±2	11±1	0,41±0,04
1210±1	33±2	1,2±0,08
(1218±1)	-	-
1228±1	100	3,8
1808±2	5±2	0,19±0,08
1820±2	3±1	0,11±0,04
2165±3	3±1	0,11±0,04
2183±3	3±1	0,11±0,04
2220±2	10±2	0,38±0,08
2616±2	5±1	0,19±0,04

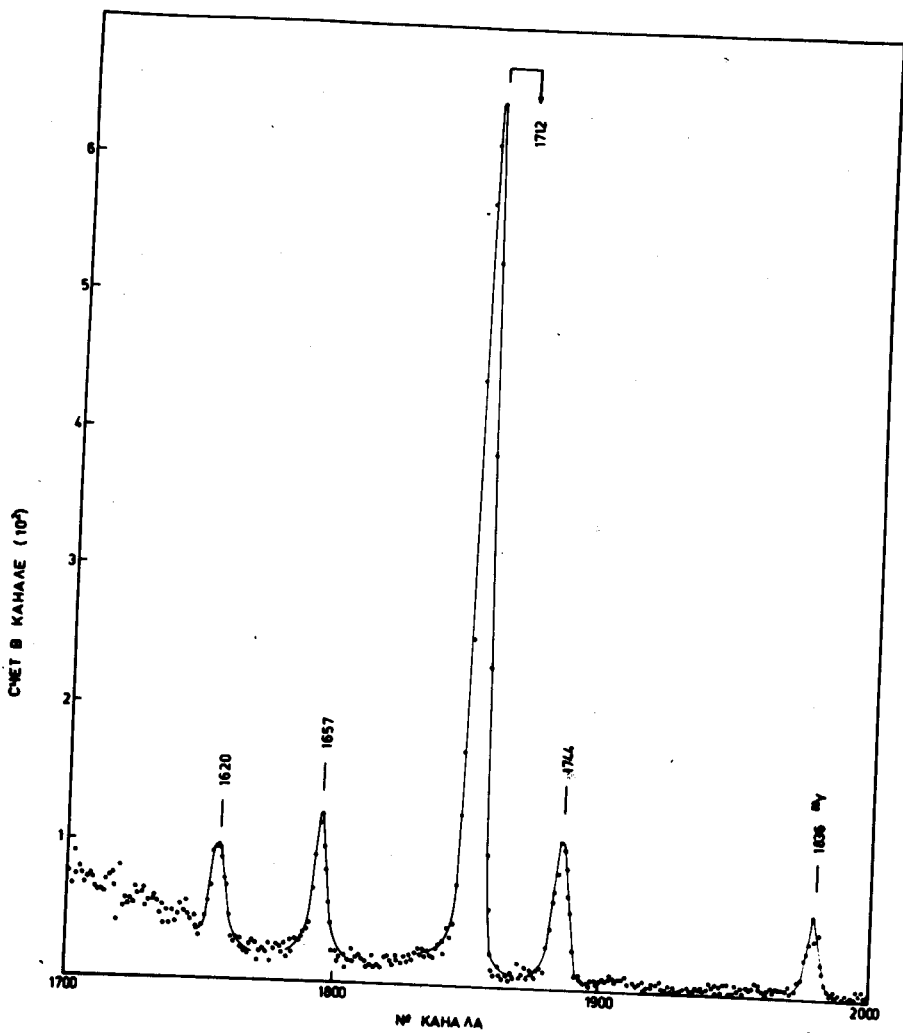


Рис. 1. Участок гамма-спектра ^{89}Zr в области энергии 1600–1850 кэВ.

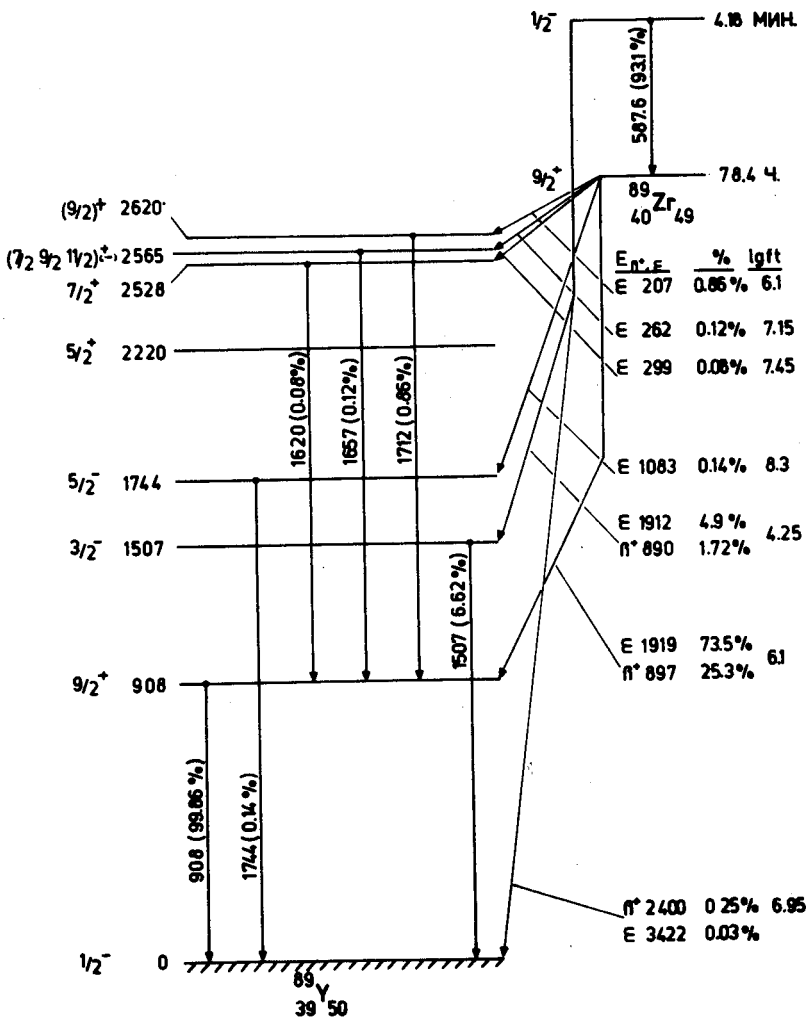


Рис. 2. Схема распада ^{89}Zr .

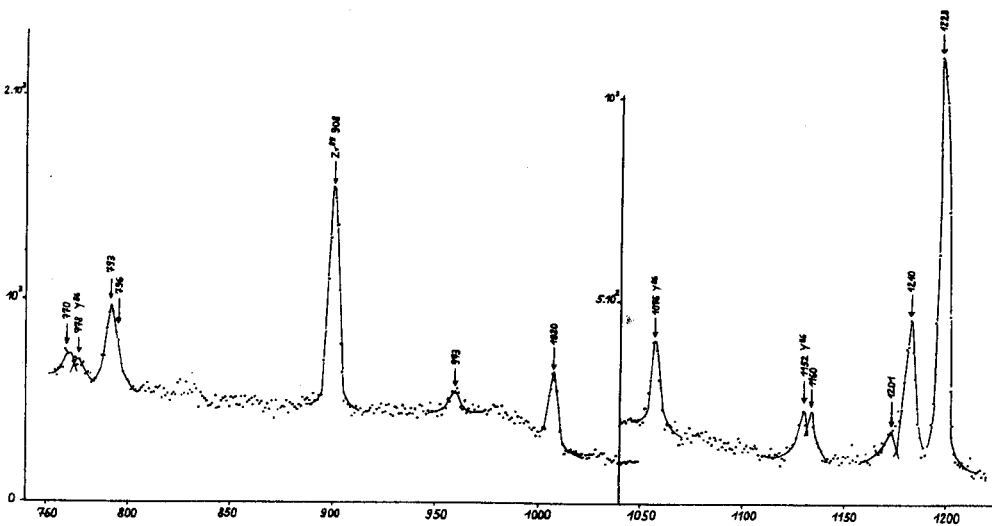


Рис. 3. Отдельные участки гамма-спектра ^{87}Zr .

