

С34116

A-139

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна.

919/1-72



P6 - 6249

А.А. Абдуразаков, А. Баланда, Б. Крацик, М. Тошев,
Ф. Хамраев, Чан Тхань Минь

О РАСПАДЕ ^{83}Y (7,4 мин) И $^{83\text{m}}\text{Y}$ (2,6 мин)

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1972

Р6 - 6249

А.А. Абдуразаков, А. Баланда, Б. Крацик, М. Тошев,
Ф. Хамраев, Чан Тхань Минь

О РАСПАДЕ $^{83}\text{Y}(7,4 \text{ мин})$ И $^{83\text{m}}\text{Y}(2,6 \text{ мин})$

Направлено в Nuclear Physics

Введение

В последнее время в нашей лаборатории изучался распад ^{86}Y ^{/1,2/} ^{85}Y и $^{85\text{m}}\text{Y}$ ^{/3/} и ^{84}Y ^{/4/}. Эти изотопы получались в реакциях глубокого расщепления разных мишеней протонами с энергией 120 и 860 Мэв на синхроциклотроне ОИЯИ. Для более полного представления о структуре ядер в этой области очень важно продвинуться к исследованиям более нейтронодефицитных изотопов Y. С этой целью была предпринята попытка изучить распад изомеров ^{83}Y и $^{83\text{m}}\text{Y}$.

В литературе приводятся следующие значения для периода полураспада ^{83}Y : $(3,5 \pm 0,5)$ ^{/5/}, (8 ± 2) мин ^{/6/}, $(34,7 \pm 1,6)$ мин ^{/7/}, $(7,40 \pm 0,10)$ мин ^{/8/}, $(7,5 \pm 0,1)$ мин ^{/9/}. Во всех этих работах из ^{83}Y , полученного в разных реакциях, вымывался в определенных интервалах дочерний ^{83}Sr , и по уменьшению активности последующих вымытий строилась кривая распада материнского ^{83}Y . Сам распад ^{83}Y до сих пор не изучен. Сейчас можно считать, что значения периода полураспада, приведенные в ^{/5/} и ^{/7/}, относятся на самом деле к $^{85\text{m}}\text{Y}$ и ^{84}Y , соответственно, и что значения, приведенные в ^{/6,8,9/}, соответствуют действительно ^{83}Y .

В /8/ и /9/ приводятся верхние границы для периода полураспада изомерного состояния ^{83m}Y : $T_{1/2} \leq 3$ мин и $T_{1/2} \leq 1,5$ мин, соответственно. ^{83m}Y был открыт Доронем и Блэнном /10/, которые приводят для его периода полураспада значение $(2,6 \pm 0,2)$ мин. В спектре распада ^{83m}Y они обнаружили переход с энергией 259,1 кэВ.

В /11/ изучались уровни ^{83}Sr , возбуждаемые в реакции $^{84}\text{Sr}(d, t)^{83}\text{Sr}$.

Экспериментальная методика

^{83}Y и ^{83m}Y получались при облучении As_2S_3 , нанесенного на алюминиевую подложку, ионами ^{12}C с энергией 72 МэВ на выведенном пучке циклотрона У-300 Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ. Время облучения составляло 5–10 минут, измерения начинались спустя 2–4 минуты после конца облучения.

Для измерения гамма-спектров использованы два $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектора с чувствительными объемами 10 и 13 см³ и с энергетическим разрешением 3,5 и 4,5 кэВ, соответственно (на гамма-линии ^{60}Co), и 4096-канальный амплитудный анализатор.

Калибровка проводилась с помощью гамма-переходов стандартных источников ^{226}Ra и известных переходов изотопа ^{84}Y , присутствующего в измеряемом препарате.

Идентификация продуктов реакции

Идентификация продуктов реакции проводилась прежде всего по энергиям известных гамма-переходов и периодам полураспада. Чтобы убедиться, что наблюдаемые нами 7- и 2,6-минутные активности принадлежат действительно изомерам ^{83}Y , определялась эксперименталь-

но функция возбуждения и результаты сравнивались с теоретическими кривыми для реакций $^{75}\text{As} (^{12}\text{C} , xn) ^{87-x}\text{Y}$, рассчитанными по модели Джексона ^{/12/} (см. рис. 1). Как видно из рис.1, 7 минутный переход 490 кэв действительно принадлежит ^{83}Y . Аналогичный результат получен и для 2,6-минутного перехода 260 кэв.

Дополнительный аргумент в пользу предложенной идентификации можно получить из анализа выражения

$$\frac{\epsilon_x}{x} = \frac{E_{\text{возб}} - \sum_{i=1}^x B_{in}}{x}, \quad (1)$$

где x - количество испарившихся нейтронов в реакции (HI , xn) ,

$E_{\text{возб}}$ - энергия возбуждения, соответствующая положению максимума сечения для образования данного продукта, B_{in} - энергия связи i -го нейтрона.

Для реакции $^{75}\text{As} (^{12}\text{C} , xn) ^{87-x}\text{Y}$ при энергии возбуждения ~ 72 Мэв величина $\frac{\epsilon_x}{x}$ принимает следующие значения:

$$\frac{\epsilon_3}{3} = (10 \pm 1) \text{ Мэв}, \quad \frac{\epsilon_4}{4} = (7 \pm 0,7) \text{ Мэв}, \quad \frac{\epsilon_5}{5} = (4,9 \pm 0,6) \text{ Мэв}.$$

Как показали Нойберт и Александер ^{/13/}, в исследуемой нами области ядер величина $\frac{\epsilon}{x}$ должна лежать в пределах 6-9 Мэв. Это означает, что в нашем эксперименте доминирующей реакцией являлась реакция $^{75}\text{As} (^{12}\text{C} , 4n) ^{83}\text{Y}$ с испарением 4 нейтронов.

Результаты измерений

На рис. 2 и 3 представлен гамма-спектр продуктов реакции $\text{As}_2\text{S}_3 + ^{12}\text{C}$ ($E_{^{12}\text{C}} = 72$ Мэв). Кроме 7- и 2,6-минутных компонент в спектре присутствуют линии, принадлежащие распаду $^{82\text{m}}\text{Rb}$ и ^{84}Y ,

а также линии, принадлежащие продуктам взаимодействия ^{12}C с алюминиевой подкладкой ($^{34\text{m}}\text{Cl}$) и с серой. Чтобы однозначно определить вклад последних, в специальном опыте облучалась мишень из серы, нанесенная на алюминиевую подкладку. Остальные условия опыта оставались такими же, как и в случае облучения As_2S_3 . Что касается $^{82\text{m}}\text{Rb}$ и ^{84}Y , которые возникали вследствие реакций (^{12}C , αn) и (^{12}C , 3n), соответственно, их спектры достаточно известны, и учесть их вклад не представляло никаких трудностей.

Измерения гамма-спектров ^{83}Y и $^{83\text{m}}\text{Y}$ продолжались вплоть до их полного распада. Принадлежность наблюдаемых переходов отдельным изомерам определялась по значениям периода полураспада и также по сохранению отношений их интенсивностей в разных опытах, в которых менялось время облучения и энергия бомбардирующих ионов ^{12}C .

Данные об энергиях и относительных интенсивностях гамма-переходов ^{83}Y и $^{83\text{m}}\text{Y}$ приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Энергии и интенсивности гамма-лучей ^{83}Y (7,4 мин)

E_{γ} кэВ	I_{γ}	E_{γ} кэВ	I_{γ}
392 ± 1	$24,7 \pm 3$	$928,1 \pm 1$	$19 \pm 2,4$
455 ± 1	$23,8 \pm 3,1$	952 ± 1	$36 \pm 4,2$
$490 \pm 0,5$	100	1314 ± 2	11 ± 2
$858 \pm 0,5$	47 ± 5	1337 ± 1	$27 \pm 3,5$
$882 \pm 0,5$	$76 \pm 7,1$		

Таблица 2

Энергия и интенсивности гамма-лучей ^{83m}Y (2,6 мин)

E_{γ} кэВ	I_{γ}	I_{γ} абсолют. %
$260 \pm 0,5$	100	100
$420,8 \pm 0,5$	$60,1 \pm 6,4$	$60,1 \pm 6,4$
719 ± 1	$23,2 \pm 3,2$	$23,2 \pm 3,2$

Схема распада ^{83}Y и ^{83m}Y

На рис. 4 представлена предложенная нами схема распада ^{83}Y и ^{83m}Y . Она построена на основе следующих соображений.

В соответствии с моделью оболочек основное состояние нечетных изотопов стронция ^{85}Sr и ^{87}Sr типа $1g\ 9/2$ с $I^{\pi} = 9/2^{+}$. Однако согласно /14/, спин и четность основного состояния ^{83}Sr $I^{\pi} = 7/2^{+}$. Такое же значение наблюдается и у других изотонов с $N = 45$ (^{77}Ge , ^{79}Se , ^{81}Kr - см. /15/).

По оценкам, сделанным в /11/, уровень $9/2^{+}$ должен лежать на $(0,014 \pm 0,033)$ Мэв выше уровня $7/2^{+}$. В наших измерениях мы нашли три пары переходов, энергия которых отличается на 24 кэв. Отсюда сделан вывод, что уровень $1g\ 9/2$ ($9/2^{+}$) находится на 24 кэв выше уровня $7/2^{+}$. Тем самым также определены уровни 882, 952 и 1337 кэв.

В реакции $^{84}\text{Sr} (d, t) ^{83}\text{Sr}$ /11/ были возбуждены, кроме уровня $9/2^{+}$, также уровни $1/2^{-}$, $5/2^{-}$, $3/2^{-}$ и $3/2^{-}$. Их существование нами подтверждается и уточняется их положение. По нашим данным они находятся при энергиях 260, 490, 680,8 и 979 кэв соответственно.

Параллельно с переходом 882 кэв, идущим на основное состояние ^{83}Sr , идет каскад 392 и 490 кэв с возбуждением уровня $5/2^{-}$ (490 кэв).

Ясно, что этот уровень будет разряжаться на уровень $7/2^+$ (переходом типа $E1$) и не на уровень $9/2^+$ (это было бы переходом типа $M2$, вероятность которого, однако, незначительна по сравнению с $E1$). Таким образом еще раз подтверждается, что спин и четность основного состояния ^{83}Sr - $7/2^+$ и не может быть $9/2^+$.

Для нечетных изотопов иттрия модель оболочек предсказывает существование двух изомерных состояний с квантовыми характеристиками $1/2^-$ ($2p\ 1/2$) и $9/2^+$ ($1g\ 9/2$). Во всех известных случаях ($^{85,87,89,91}\text{Y}$, см. /15/) это выполняется и нет оснований ожидать, что в случае ^{83}Y так не будет. При распаде 2,6-минутного изомера возбуждаются уровни $1/2^-$ и $3/2^-$. Распад 7,4-минутного изомера приводит к возбуждению уровня $9/2^+$. Поэтому 2,6-минутному изомеру можно приписать квантовые характеристики $I^\pi = 1/2^-$, а 7,4-минутному - $I^\pi = 9/2^+$. На основе наших данных нельзя заключить, которое из этих двух состояний лежит выше. Так как прямого изомерного перехода мы не наблюдали, можно сделать лишь вывод, что их энергетическое расстояние невелико. Условно мы обозначаем состояние $9/2^+$ (7,4 мин) как основное и состояние $1/2^-$ (2,6-мин) как изомерное, так как период полураспада последнего короче.

Согласно /16/, полная энергия распада ^{83}Y равна 5,5 Мэв. Можно предположить, что погрешность этой оценки не превышает $\pm 0,5$ Мэв. Используя это значение вместе с балансом интенсивностей при распаде ^{83m}Y , мы определили значения $\log ft$ для β -переходов на уровни 260, 680,8 и 979 кэв. (см. рис. 4). Приведенная погрешность включает в себя как неопределенность в полной энергии распада, так и погрешность в определении интенсивностей соответствующих гамма-переходов. Для распада ^{83}Y (7,4 мин) значения $\log ft$ определить нельзя, так как не известна интенсивность перехода 24 кэв и интенсивность бета-перехода на основное состояние ^{83}Sr .

Естественно, что при распаде ^{83}Y будут заселяться главным образом те уровни ^{83}Sr , которые возбуждаются вследствие разрешенных бета-переходов. Поэтому можно предположить, что спины и четности уровней 882, 952 и 1337 кэв должны иметь значения $7/2^+$, $9/2^+$ или $11/2^+$. Так как с уровня 882 кэв идет переход на уровень $5/2^-$ (490 кэв), значения $1^{\pi} = 9/2^+$, $11/2^+$ для него исключаются. Так как, наоборот, с уровней 952 и 1337 кэв переходов на уровень $5/2^-$ не наблюдается, можно для них исключить значение $7/2^+$.

Чтобы сбалансировать по интенсивностям уровень 490 кэв ($5/2^-$), нужно предположить, что этот уровень сильно заселяется или путем бета-распада, или не обнаруженными нами гамма-переходами с более высоких уровней. Так как соответствующий бета-переход должен быть уникальным первого запрета с $\log ft \sim 8,5$, то следует предпочесть вторую возможность.

Обсуждение результатов

Как уже отмечалось выше, уровни 24 кэв ($9/2^+$), 260 кэв ($1/2^-$), 490 кэв ($5/2^-$), 680,8 кэв ($3/2^-$) и 979 кэв ($3/2^-$) возбуждаются также в реакции $^{84}\text{Sr} (d, t) ^{83}\text{Sr} /11/$. Это реакция селективного типа, в которой возбуждаются нейтронные однодырочные состояния. В соответствии с этим и в соответствии с моделью оболочек можно считать, что нейтронная конфигурация первых четырех из упомянутых уровней будет следующая: $(1q\ 9/2)^5$, $(2p\ 1/2)^{-1} (1q\ 9/2)^6$, $(1f\ 5/2)^{-1} (1q\ 9/2)^6$, $(2p\ 3/2)^{-1} (1q\ 9/2)^6$, соответственно. В согласии с этим находится и тот факт, что энергии возбуждения этих уровней меняются плавно по отношению к другим изотонам с $N = 45$ (см. рис. 5). В то время, как расстояние уровней $1/2^-$ и

$9/2^+$ с увеличением числа протонов возрастает, расстояния уровней $1/2^-$, $5/2^-$ и $3/2^-$ меняются очень мало, что имеет место и у других групп изотонов (например, с $N = 49$). Значения $\log ft$ показывают качественное сходство с переходами $^{85}\text{Y} \rightarrow ^{85}\text{Sr}$. У переходов $1/2^- \rightarrow 1/2^-$ $\log ft > 6$ и значения $\log ft$ переходов $1/2^- \rightarrow 3/2^-$ практически одинаковы для ^{83}Y и $^{85}\text{Y}^{13/}$.

Что касается уровня 979 кэв ($3/2^-$), можно предположить, что его конфигурация $(2p\ 1/2)^{-2} (2p\ 3/2)^{-1} (1q\ 9/2)^8$. Аналогичный уровень с возможной конфигурацией $(2p\ 1/2)^{-2} (2p\ 3/2)^{-1} (1q\ 9/2)^{10/3}$ наблюдается также в ^{85}Sr при энергии 1154 кэв. И там значение $\log ft$ соответствующего бета-перехода меньше, чем для перехода на уровень $1/2^-$, но больше, чем на первый уровень с $I^\pi = 3/2^-$. Кроме того, у ^{87}Sr , где аналогичной конфигурации существовать не может, этот уровень отсутствует.

Основное состояние ^{83}Sr в реакции (d, t) не наблюдается, так как оно имеет сложную структуру. Считается, что оно типа $(1q\ 9/2)^5_{7/2^+}$ с *seniority* $\nu = 3$.

Уровни 882, 952 и 1337 кэв разряжаются как на уровень $9/2^+$, так и на $7/2^+$. Однако вероятности переходов на уровень $7/2^+$ больше. Для отношения приведенных вероятностей $\frac{B(M1) \rightarrow 7/2^+}{B(M1) \rightarrow 9/2^+}$ мы получаем значения 1,49, 1,76 и 2,41, для $\frac{B(E2) \rightarrow 7/2^+}{B(E2) \rightarrow 9/2^+} = 1,41, 1,67$ и 2,25,

соответственно. Можно, по-видимому, заключить, что эти уровни также имеют сложную структуру с *seniority* $\nu > 1$. В согласии с этим находится и тот факт, что они не возбуждаются в реакции (d, t) .

Авторы выражают благодарность доктору физико-математических наук К.Я. Громову, академику Г.Н. Флерову и доктору С. Хойнацкому за поддержку и интерес к работе, А.Корману за помощь при измерениях и Л.К. Пекеру за ценные обсуждения.

Литература

1. Р. Арльт, Н.Г. Зайцева, Б. Крацик, М.Г. Лошилов, Г. Музиоль, Чан Тхань Минь. Изв. АН СССР сер. физ. 33, 1594 (1969).
2. Р. Брода, В. Валюс, Н.Г. Зайцева, Б. Крацик, М.Г. Лошилов, Г. Музиоль, Э.З. Рындина, Чан Тхань Минь. Программа и тезисы докладов XX ежегодного совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, 1, "Наука", Ленинград, 1970, стр. 51.
3. Р. Арльт, Н.Г. Зайцева, Б. Крацик, М.Г. Лошилов, Л.К. Пекер, Г. Музиоль, Чан Тхань Минь. Изв. АН СССР сер. физ. 35, 48 (1971).
4. Н.Г. Зайцева, Б. Крацик, М.Г. Лошилов, Г. Музиоль, Чан Тхань Минь, Х. Штрусный. Изв. АН СССР, сер. физ. 33, 1283 (1969).
5. A.A.Caretto, E.O.Wiig. Journ.An.Chem.Soc., 74, 5235 (1952).
6. V.Maxia, W.H.Kelly, D.J.Horen, J.Inorg.Nucl.Chem., 24, 1175 (1962).
7. F.D.S.Butement, G.B.Briscoe. J.Inorg.Nucl.Chem., 25, 151 (1963).
8. I.Dostrovsky, S.Katcoff, R.W.Stoenner. J.Inorg.Nucl.Chem., 26, 209 (1964).
9. W.J.Nieckarz, A.A.Caretto. J.Inorg.Nucl.Chem., 27, 919 (1965).
10. T.A.Doron, M.Blann. Nucl.Phys., A161, 12 (1971).
11. R.W.Bercaw, R.E.Warner. Phys.Rev., C2, 297 (1970).
12. J.D.Jackson. Canad.J.Phys., 34, 767 (1956).
13. В. Нойберт, К. Александер. Препринт ОИЯИ P7-3657, Дубна, 1968.
14. R.C.Etherton, L.M.Beyer, W.H.Kellett, D.J.Horen. Phys.Rev., 168, 1249 (1968).
15. C.M.Lederer, J.M.Hollander, I.Pearlman. Table of Isotopes, Sixth ed. John Wiley and Sons, New York-London-Sydney, 1968.
16. Table of Masse and Deformations. UCRL-11980 (1964).

Рукопись поступила в издательский отдел
24 января 1972 года.

ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ СЕЧЕНИЯ

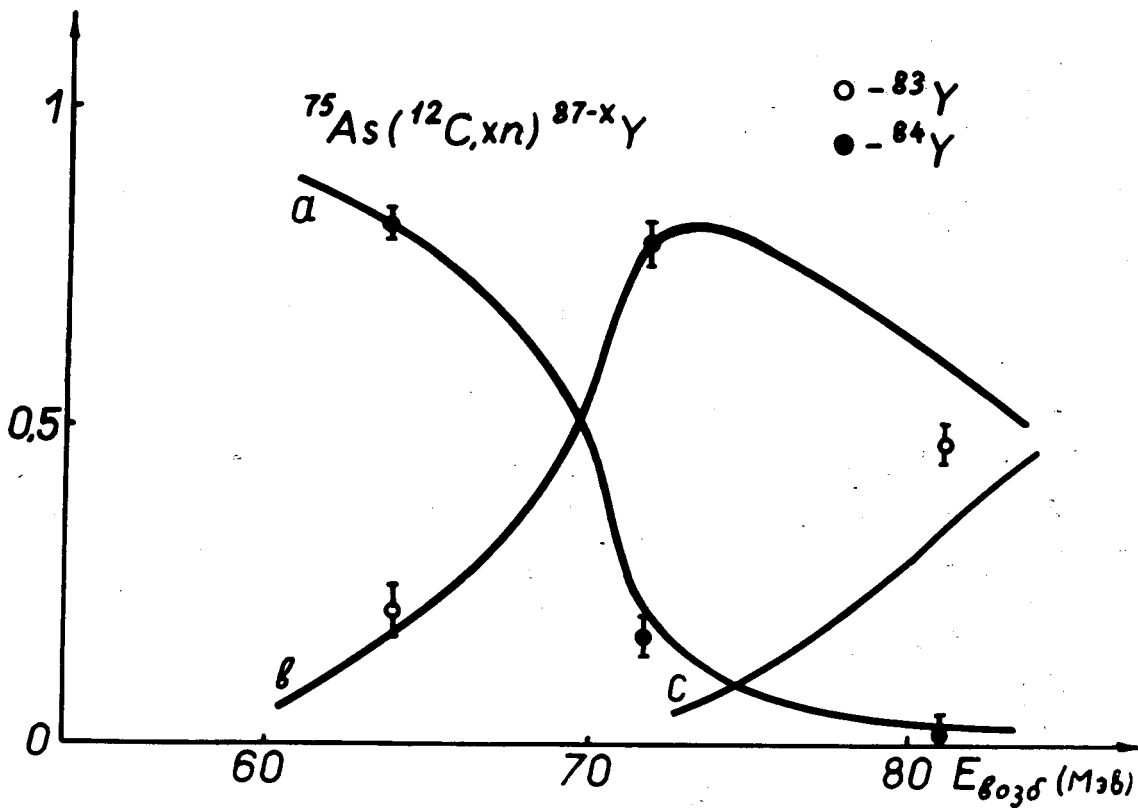


Рис. 1. Функция возбуждения реакций $^{75}\text{As} (^{12}\text{C}, xn) ^{87-x}\text{Y}$ /12/.
 Сплошные кривые рассчитаны по модифицированной модели Джексона:
 а - для реакции ($^{12}\text{C}, 3n$), б - для реакции ($^{12}\text{C}, 4n$), с -
 для реакции ($^{12}\text{C}, 5n$). Кружками показаны экспериментальные значения:
 ● - по переходу 794 кэВ ^{84}Y . ○ - по переходу 490 кэВ ^{83}Y .

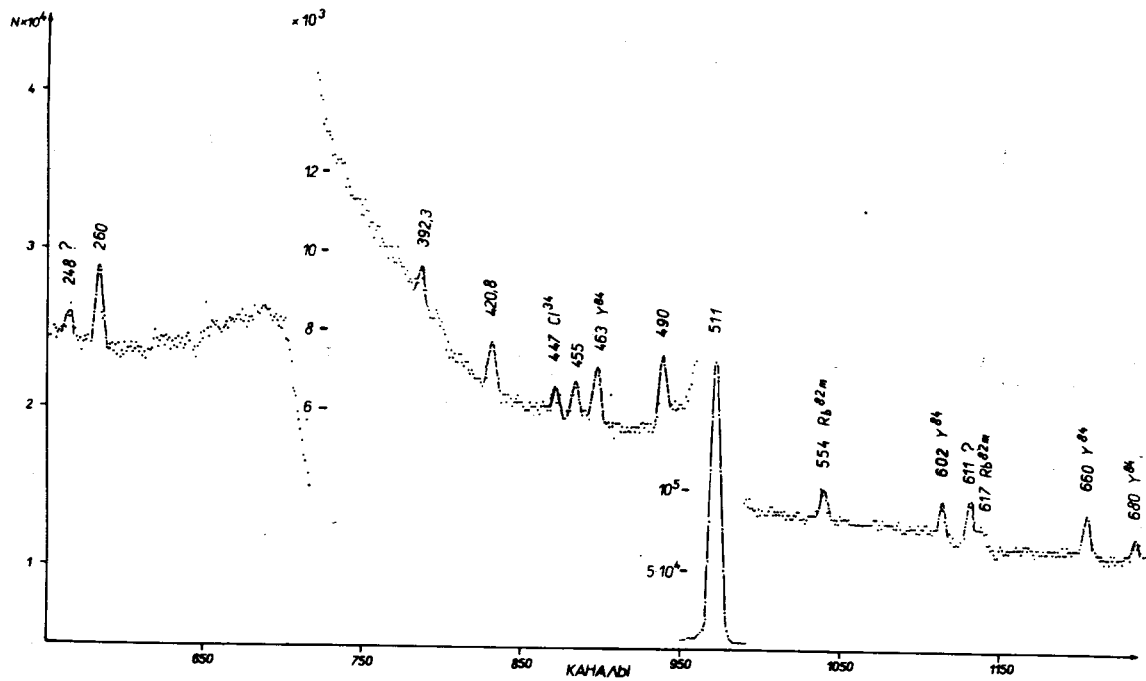


Рис. 2. Гамма-спектр ^{83}Y и ^{83m}Y в области энергий 200-700 кэВ.

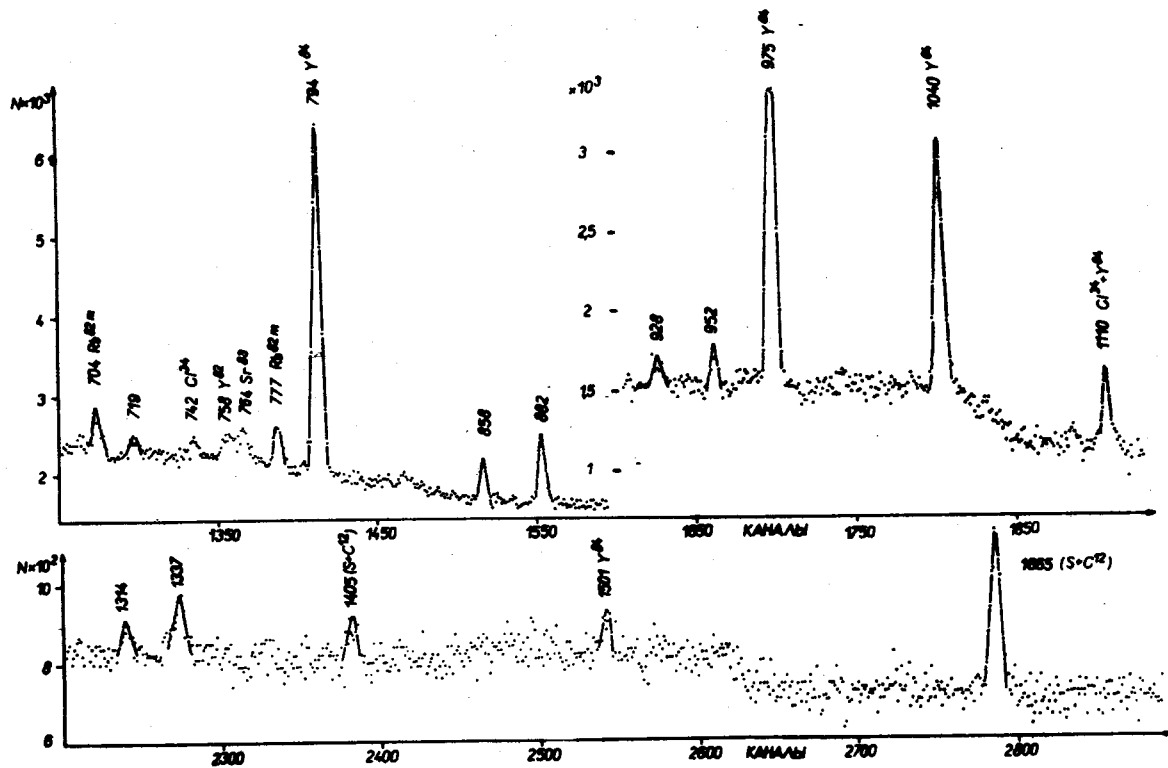


Рис. 3. Гамма-спектр ^{83}Y и ^{83m}Y в области энергий 700–1700 кэВ.

$$\begin{array}{l}
 {}^{83}_{39}\text{Y} \\
 \frac{1}{2}^- \xrightarrow{2,6 \text{ мин}} \\
 \frac{9}{2}^+ \xrightarrow{7,4 \text{ мин}} \\
 Q = 5,5 \text{ мев}
 \end{array}$$

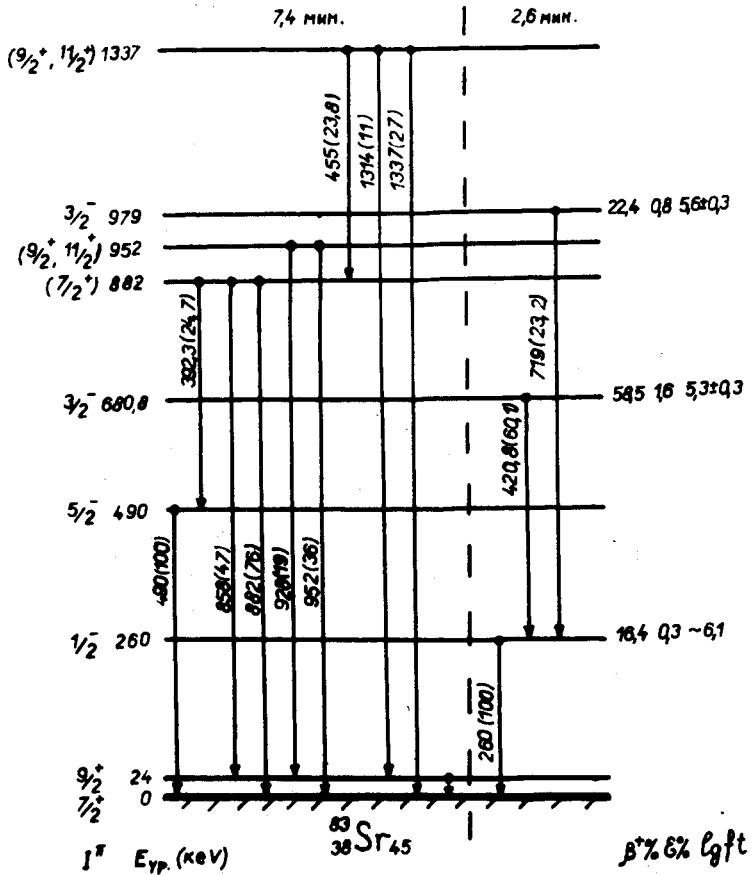


Рис. 4. Схема распада ${}^{83}\text{Y}$ и ${}^{83}\text{mY}$.

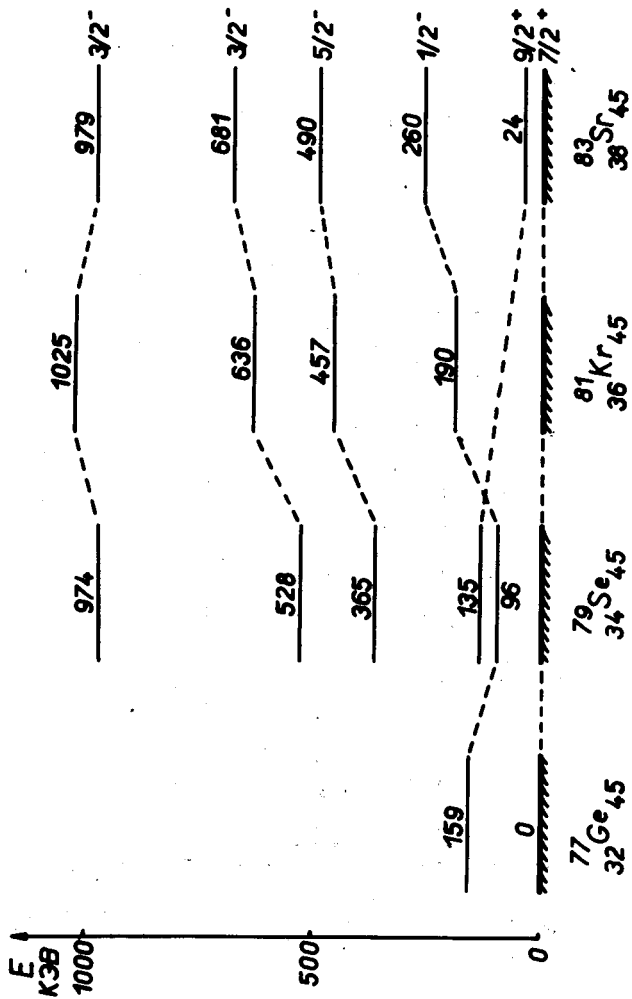


Рис. 5. Сравнение возбужденных уровней изотонов с $N = 45$.