

СЗУИ.25  
В-79

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



23/III-73

6 - 7177

2679/2-73

И. Воцилка, Б. Крацик, Я. Липтак,  
А.Ф. Новгородов, М. Тошев

РАСПАД №<sup>87</sup> . НОВЫЙ ИЗОТОП №<sup>86</sup> .

**1973**

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

6 - 7177

И. Воцилка, Б. Крацик, Я. Липтак,  
А.Ф. Новгородов, М. Тошев

РАСПАД № 87 . НОВЫЙ ИЗОТОП № 86

Направлено в Изв. АН СССР  
(серия физическая)

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

## I. Введение.

Первые сведения об активности в ниобиевой фракции с периодом полураспада  $T_{1/2}=3,2$  мин были даны в работе /1/. Дорон и др. /2/ обнаружили три гамма-перехода с энергиями 135, 201 и 470 кэв с периодом полураспада  $T_{1/2}=3,5$  мин, которые авторы отнесли к распаду  $^{87}\text{Nb}$ . Недавно, во время обработки наших экспериментальных данных появилась работа Туркотте и др. /3/, в которой авторы исследовали гамма-спектр и гамма-гамма-совпадения при распаде  $^{87}\text{Nb}$ . Они обнаружили, в согласии с нами, что гамма-переходы 135, 201 и 470 кэв имеют разные периоды полураспада:  $3,9\pm 0,2$ ,  $3,5\pm 0,1$  и  $2,6\pm 0,1$  мин, соответственно.

В этой же работе было доказано существование двух метастабильных состояний в  $^{87}\text{Nb}$  и изомерного состояния в  $^{87}\text{Zr}$  и на основе гамма-гамма-совпадений была предложена схема разрядки первых трех возбужденных уровней в ядре  $^{87}\text{Zr}$ .

До сих пор сведения об изотопе  $^{86}\text{Nb}$  в литературе отсутствовали.

Настоящая работа посвящена более детальному изучению схемы распада  $^{87}\text{Nb}$  и установлению существования изотопа  $^{86}\text{Nb}$ .

## 2. Условия и результаты эксперимента.

Для исследования короткоживущих изотопов Nb использовалась фракция нейтронодефицитных изотопов ниобия, образующихся в реакциях глубокого расщепления серебра протонами с энергией 660 Мэв. Для получения изотопов ниобия на выведенном пучке синхротрона ЛЯП ОИЯИ облучался хлорид серебра в течение 5-90 сек. Облученная мишень за 10-20 сек доставлялась с помощью пневмочты в химический шкаф, где проводилось термохроматографическое выделение фракции Nb. Время химического выделения составляло 3 мин. При идентификации нового изотопа  $^{86}\text{Nb}$  по дочернему  $^{86}\text{Zr}$  фракция нейтронодефицитных изотопов Nb, полученная таким образом, наносилась на

колонку (2x40) мм со смолой Dowex Ix8 (200-400 меш) из 10 М раствора HCl. Затем проводилось непрерывное "выдаивание" дочерних изотопов Zr 6 М раствором HCl со скоростью 4 л/мин, что позволяло последовательно выделять за каждые 1,5 мин около 85% накопившихся изотопов Zr (согласно модельным опытам с  $^{95}\text{Zr} + ^{95}\text{Nb}$ )

Спектры гамма-лучей исследовались при помощи гамма-спектрометров с Ge(Li)-детекторами (чувствительные объемы - 38 см<sup>3</sup> и 2,4 см<sup>3</sup>, энергетическое разрешение - 4 кэВ и 2,3 кэВ при энергии 1 МэВ соответственно). Энергетическая калибровка производилась с помощью известных гамма-линий  $^{88\text{m}}\text{Nb}$ ,  $^{88}\text{Nb}$ ,  $^{89}\text{Nb}$  и  $^{90}\text{Nb}$ , присутствующих в ниобиевой фракции.

Принадлежность гамма-переходов к каждому из изотопов определялась по убыванию их интенсивностей. Из обнаруженных гамма-переходов во фракции ниобия I7 принадлежат распаду  $^{87}\text{Nb}$ , из которых 14 являются новыми (табл. I.) Отдельные участки гамма-спектров приведены на рис. 1 и 2.

Анализ интенсивностей гамма-переходов с энергиями 135, 201 и 470 кэВ показал, что они убывают с разными периодами полураспада ( $3,7 \pm 0,1$ ), ( $3,2 \pm 0,1$ ) и ( $2,6 \pm 0,1$ ) мин, соответственно (см. рис. 3). Остальные гамма-переходы приписаны распаду  $^{87}\text{Nb}$ , имеющему период полураспада 2,6 мин.

Для объяснения поведения линий 135, 201 и 470 кэВ измерялся гамма-спектр Zr, полученного из ниобиевой фракции через 6 мин после ее выделения. Также измерялся спектр гамма-гамма-совпадений с гамма-лучами энергией 201 кэВ при распаде  $^{87}\text{Nb}$ . Эти эксперименты показали, что состояние с энергией 201 кэВ питается не только бета-распадом  $^{87}\text{Nb}$ , но и изомерным переходом 135 кэВ в ядре  $^{87}\text{Zr}$ . Относительные интенсивности этих двух гамма-переходов  $I_{\gamma 135} = 27$ ,  $I_{\gamma 201} = 100$  свидетельствуют о том, что переход 135 кэВ - типа Е3.

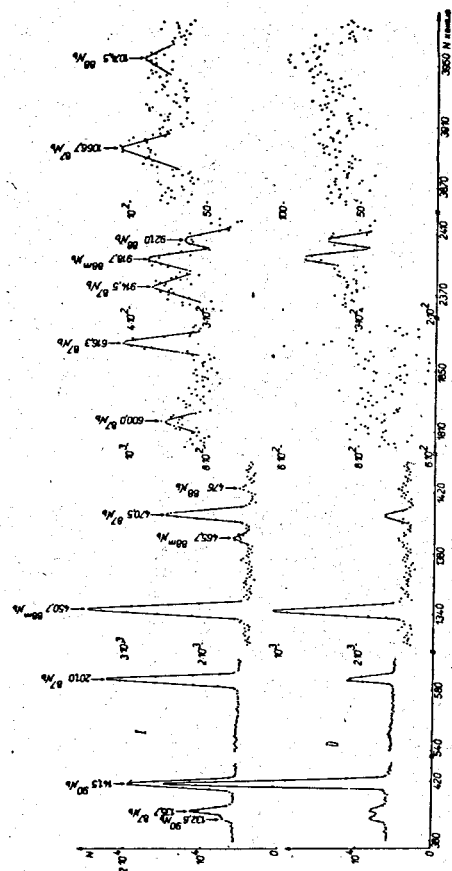


Рис. 1. Участки гамма-спектра  $^{87}\text{Nb}$ , измеренные при помощи Ge(Li)-детектора объемом 2,4 см<sup>3</sup>.

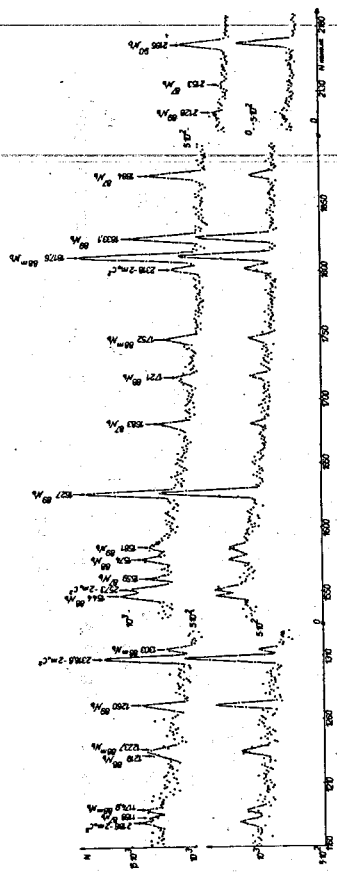


Рис. 2. Участки гамма-спектра  $^{87}\text{Nb}$ , измеренные при помощи Ge (Li)-детектора объемом 38 см<sup>3</sup>.

Таблица I.

Энергии и интенсивности гамма-переходов  $^{87}\text{Nb}$ .

$E_\gamma$ (кэВ)	$T_{1/2} = 2,6$ мин		$T_{1/2} = 3,8$ мин	
	$I_\gamma$		$I_\gamma$	
135,2 $\pm$ 0,3	-		27 $\pm$ 3	
201,0 $\pm$ 0,3	100 $\pm$ 6		100 $\pm$ 6	
(269,0 $\pm$ 1,0)	~6,0			
470,6 $\pm$ 0,2	74,0 $\pm$ 4,4			
600,0 $\pm$ 0,6	8,6 $\pm$ 1,3			
616,5 $\pm$ 0,2	32,7 $\pm$ 2,6			
801,0 $\pm$ 1,0	4,0 $\pm$ 1,2			
887,0 $\pm$ 1,5	7,2 $\pm$ 2,2			
914,2 $\pm$ 0,3	22,6 $\pm$ 2,7			
983,0 $\pm$ 1,5	4,8 $\pm$ 1,4			
1066,5 $\pm$ 0,4	3,7 $\pm$ 3,7			
1168,0 $\pm$ 1,5	3,6 $\pm$ 1,1			
1285,0 $\pm$ 1,4	4,0 $\pm$ 1,2			
1559,0 $\pm$ 1,5	3,0 $\pm$ 0,9			
1683,2 $\pm$ 0,3	15,2 $\pm$ 1,5			
1884,2 $\pm$ 0,3	34,8 $\pm$ 2,8			
2153,3 $\pm$ 0,7	3,8 $\pm$ 1,1			

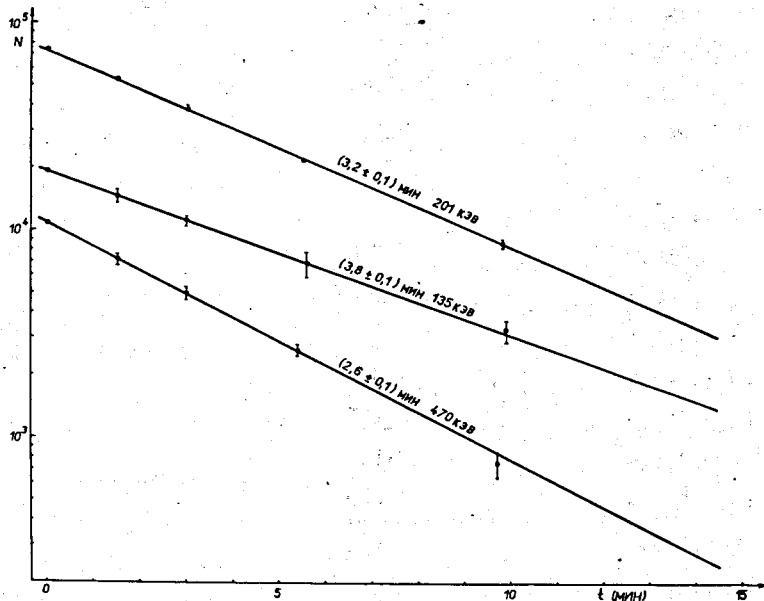


Рис.3. Определение периода полураспада изомеров  $^{87}\text{Nb}$ .

### 3. Схема распада $^{87}\text{Nb}$ .

На рис. 4. представлена предложенная нами схема распада  $^{87}\text{Nb}$ . Она построена на основе наших экспериментальных данных, данных работы /3/ и следующих соображений. Ядро  $^{87}\text{Nb}$  с одним протоном вне оболочки  $Z=40$  имеет в основном состоянии, более вероятно, спин и четность  $I^\pi = 9/2^+$ . Аналогично другим известным нечетным изотопам ниобия,  $^{87}\text{Nb}$  будет иметь изомерное состояние с  $I^\pi = 1/2^-$  вследствие протонной конфигурации  $(p\ 1/2)^{-1} (g\ 9/2)^2$ . С другой стороны,  $^{87}\text{Zr}$  с заполненной протонной оболочкой  $Z=40$  и тремя нейтронными дырками в оболочке  $g\ 9/2$ , должен иметь в основном состоянии спин и четность  $9/2^+$  или  $7/2^+$ . Кроме того, систематика других ядер с  $N=47$  показывает, что в ядре  $^{87}\text{Zr}$  очень вероятно существует изомерное состояние с  $I^\pi = 1/2^-$ .

Кроме известных из работы /3/ уровней 201, 336 и 470 кэВ, нами введены на основе баланса энергий и интенсивностей уровни 801, 914, 1087, 1884 и 2153 кэВ.

Согласно работе /4/, полная энергия распада  $^{87}\text{Nb}$  равна 5,2 МэВ. Используя это значение вместе с балансом интенсивностей при распаде  $^{87}\text{Nb}$ , мы определили значения  $\log ft$  для бета-переходов на уровни  $^{87}\text{Zr}$  (см. рис. 4).

При распаде  $^{87}\text{Nb}$  ( $9/2^+$ ) разрешенным бета-переходом могут возбуждаться уровни с  $I^\pi = 7/2^+$ ,  $9/2^+$  и  $11/2^+$ . Значение  $\log ft \approx 6$  свидетельствует о том, что соответствующие бета-переходы относятся к разрешенному типу и, следовательно, уровни  $^{87}\text{Zr}$  470, 801, 914, 1884 и 2153 кэВ должны иметь  $I^\pi = 7/2^+$ ,  $9/2^+$  или  $11/2^+$ .

Следует ожидать, что перечисленные уровни будут разряжаться преимущественно переходами типа  $E1$ ,  $M1$ ,  $E2$ , так как переходы более высокой мультипольности значительно менее вероятны. Эти соображения позволяют ограничить для некоторых уровней возможные квантовые характеристики.

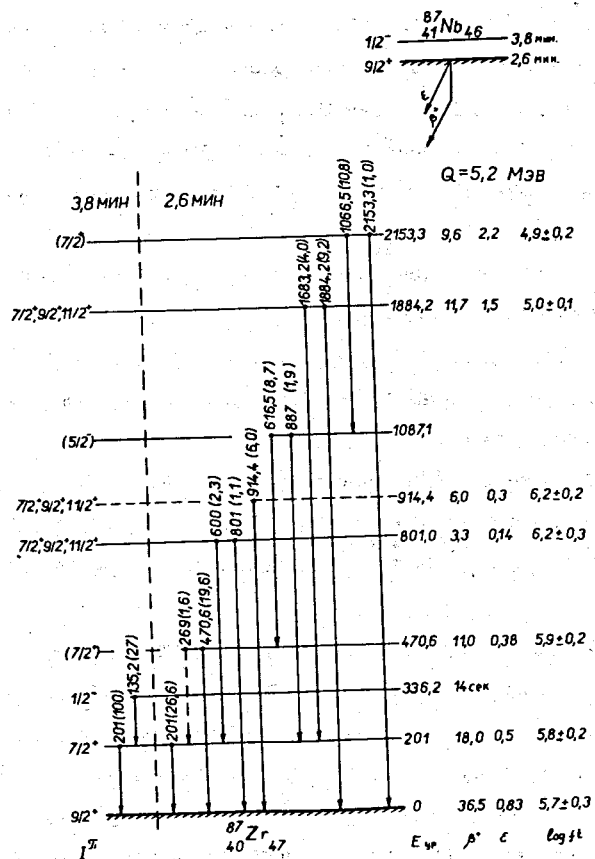


Рис. 4. Схема распада изомеров  $^{87}\text{Nb}$ .

Уровень I087 кэв, не заселяемый непосредственно бета-распадом, связан относительно сильными гамма-переходами с уровнями 2I54 кэв ( $7/2^+$ ,  $9/2^+$ ,  $11/2^+$ ), 470 кэв ( $7/2^+$ ,  $9/2^+$ ,  $11/2^+$ ) и 20I кэв ( $7/2^+$ ) и с этого уровня нет прямого перехода в основное состояние. Отсюда следует, что его квантовые характеристики, вероятно, будут  $I^\pi = 5/2^-$ . Если это так, то спин и четность уровней 2I53 и 470 кэв будут  $7/2^+$ . Конечно, это требует дополнительного доказательства на основе установления мультипольности переходов I067 и 6I6 кэв.

#### 4. Дискуссия.

Ядро  $^{87}\text{Zr}$  содержит в заполненной нейтронной оболочке три дырки. В соответствии с моделью оболочек уровни  $9/2^+$  (0 кэв) и  $1/2^-$  (336 кэв) можно характеризовать как одночастичные, определяемые нейтронной дыркой в конфигурациях  $(g\ 9/2)^{-3}$  и  $(p\ 1/2)^{-1}$   $(g\ 9/2)^8$ , соответственно.

На рис. 5 представлена систематика низколежащих состояний изотопов с  $N=47$ . Из рисунка видно, что расстояния между состояниями  $1/2^-$ ,  $3/2^-$  и  $5/2^-$  почти одинаковы у всех ядер с  $N=47$ . Однако состояние  $1/2^-$  с увеличением  $A$  удаляется от состояния  $9/2^+$ . В простой модели оболочек увеличение расстояний между уровнями с  $I^\pi = 1/2^-$  и  $9/2^+$  можно объяснить расширением потенциальной ямы ядра с ростом  $A$ . Однако такое объяснение недостаточно для сравнительно большого изменения  $\Delta E\ p\ 1/2 - g\ 9/2$  от ядра к ядру.

В ядре  $^{87}\text{Zr}$  протоны полностью заполняют подоболочку  $2p\ 1/2$ , нейтроны - все состояния вплоть до  $2p\ 1/2$ , а семь нейтронов находятся в состоянии  $1\ g\ 9/2$ , где они образуют трехдырочную конфигурацию. Конфигурационное взаимодействие этих дырок приводит к образованию ряда возбужденных состояний.





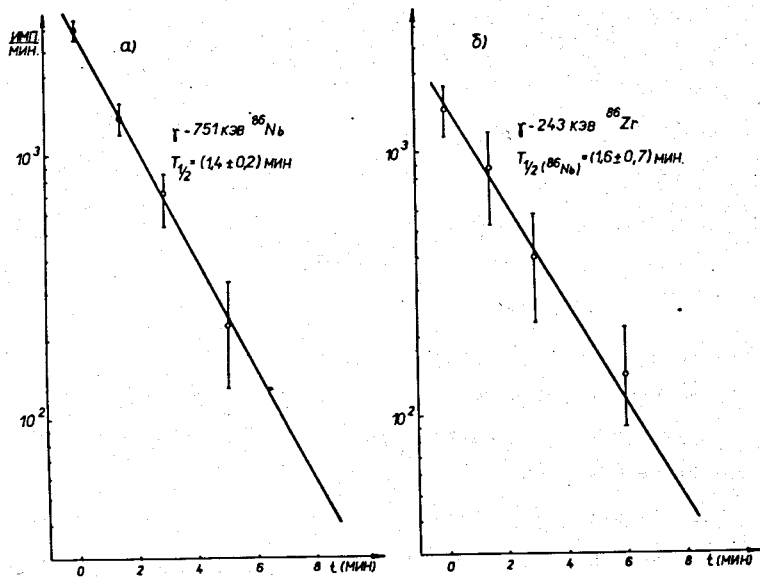


Рис.6. Определение периода полураспада нового изотопа  $^{86}\text{Nb}$ .

да материнского  $^{86}\text{Nb}$  составляет  $1,6 \pm 0,7$  мин. (рис. 6б). Это значение совпадает в пределах погрешности с периодами полураспада переходов 751 и 1003 кэв. Отсюда следует, что эти переходы должны принадлежать распаду нового изотопа  $^{86}\text{Nb}$  ( $T_{1/2} = 1,4 \pm 0,2$  мин).

В работе /7/ приводятся первые три возбужденных уровня  $^{86}\text{Zr}$  909 кэв ( $2^+$ ), 1933 кэв ( $4^+$ ) и 2726 кэв ( $6^+$ ). Однако гамма-переходов с энергиями 909, 1024 и 793 кэв между этими уровнями мы не наблюдаем.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность проф. К.Я.Грому за поддержку и интерес к настоящей работе.

Мы признательны также сотрудникам ТашГУ В.В.Гопанчук, А.Караходжаеву и Т.Инамову за помощь в обработке экспериментальных результатов.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. J. Flagenheimer, Radchim. Acta 6, 20 (1966)
2. T. A. Doron, M. Blann, Nucl. Phys. A161, 12 (1971)
3. R. Turcotte, R. Jafiglola, R. B. Moore, J. K. P. Lee, Nucl. Phys. A198 67 (1972).
4. Nucl. Data Tables, V. 9, 265 (1971)
5. К. Александр, Препринт ОИЯИ, Р6-5785, Дубна, (1968).
6. Л. К. Пекер. Материалы четвертой зимней школы по теории ядра и физике высоких энергий. Изд. ФТИ, Ленинград, 163 (1969).
7. Nucl. Data Tables, V. 8, 14 (1970)

Рукопись поступила в издательский отдел  
22 мая 1973 года.