

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



Л-618

44-45

3/III-75

P6 - 8279

775/2-75

Я.Липтак, В.Хабенихт

РАСПАД ⁷⁷Rb

1974

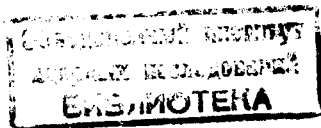
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

P6 - 8279

Я.Липтак, В.Хабенихт

РАСПАД ⁷⁷Рь

Направлено в "Изв. АН СССР"



Введение

Радиоактивный изотоп ^{77}Rb был обнаружен в 1972 году /1,2/. Период полураспада ^{77}Rb равен $3,9 \pm 0,1$ мин по /1/ и $6,1 \pm 0,5$ мин по /2/. Было обнаружено также 6 γ -переходов, сопровождающих β -распад ^{77}Rb /1,2/ : 66,5; 150,1; 178,9; 244,4; 254,3; 393,5. Однако экспериментальные данные не позволили составить схему распада ^{77}Rb .

По модели оболочек и по аналогии с соседними изотопами рубидия следует ожидать, что ^{77}Rb в основном состоянии имеет спин и четность $3/2^-$ или $5/2^-$. Квантовые характеристики основного состояния дочернего изотопа ^{77}Kr , $I^\pi = 7/2^+$, были определены в /3/ при изучении β -распада этого ядра.

Настоящая работа посвящена более детальному исследованию распада ^{77}Rb и изучению структуры уровней дочернего четно-нечетного ядра ^{77}Kr при распаде ^{77}Rb .

Условия и результаты экспериментов

Изотоп ^{77}Rb мы получали в реакции глубокого расщепления $\text{Zr} - \text{Nb}$ -мишени. Мишень весом ~ 140 мг облучалась в течение 10-15 мин протонами с энергией 660 МэВ на выведенном пучке /ток 0,1 мкА/ синхротрона ОИЯИ. Облученная мишень помещалась непосредственно в трубчатый ионный источник с поверхностной ионизацией электромагнитного масс-сепаратора. При нагревании мишени в ионном источнике изотопы рубидия - продукты ядерных реакций - диффундировали из

вещества мишени, ионизовались и поступали в камеру масс-сепаратора. Более подробно использованный метод описан в ^{1/}. Разделенные изотопы рубидия собирались на алюминизированной органической пленке. Масс-се-

Таблица I

Энергии и относительные интенсивности γ -лучей, возникающих при распаде ⁷⁷Rb

E_γ [кэВ]	I_γ	E_γ [кэВ]	I_γ
39,2 ± 0,4	0,5 ± 0,2	608,5 ± 0,8	5,5 ± 1,2
66,5 ± 0,1	100	609,4 ± 0,9	1,2 ± 0,4
78,1 ± 0,7	0,20 ± 0,07	617 ± 1	~ 0,3
106 ± 1	0,15 ± 0,06	626,5 ± 0,4	6,6 ± 0,6
150,0 ± 0,3	7,1 ± 0,5	634,0 ± 0,8	0,4 ± 0,1
178,5 ± 0,2	40 ± 3	647,7 ± 0,4	6,2 ± 0,6
216,0 ± 1,5	~ 0,1	666,9 ± 0,7	2,4 ± 0,3
237,1 ± 0,5	0,7 ± 0,2	674,3 ± 0,7	1,0 ± 0,2
245,2 ± 0,4	3,6 ± 0,3	712,4 ± 0,7	1,2 ± 0,2
254,3 ± 0,4	{ 3,2 ± 0,7 ^{а)} 1,3 ± 0,4 ^{а)}	724,5 ± 0,7	0,9 ± 0,2
		729,1 ± 0,9	0,4 ± 0,2
291,0 ± 1,5	0,3 ± 0,1	746,5 ± 1,5	~ 0,2
306,0 ± 1,5	0,3 ± 0,1	756,0 ± 1,5	~ 0,2
354,1 ± 0,8	0,6 ± 0,2	776,1 ± 0,9	0,8 ± 0,2
393,3 ± 0,3	18,5 ± 1,5	779,8 ± 0,8	1,9 ± 0,3
432,8 ± 0,5	1,9 ± 0,3	783 ± 1	1,6 ± 0,3
468,8 ± 0,5	2,2 ± 0,3	791,7 ± 1,0	0,6 ± 0,2
511 ± 2	≥ 1,4 ^{б)}	801,0 ± 0,8	1,0 ± 0,2
525,0 ± 1,5	~ 0,2	805,6 ± 0,7	{ 3,5 ± 1,0 ^{а)} 1,0 ± 0,3 ^{а)}
			826,0 ± 1,5
568,9 ± 1,0	0,3 ± 0,1	834,1 ± 1,0	0,4 ± 0,2
577,2 ± 0,5	2,1 ± 0,3	852,8 ± 0,7	1,4 ± 0,2
597,2 ± 0,6	0,7 ± 0,2	860,0 ± 0,7	1,1 ± 0,2

Продолжение табл. I

E_γ [кэВ]	I_γ	E_γ [кэВ]	I_γ
871,3 ± 0,8	0,5 ± 0,2	1312 ± 2	~ 0,2
909,8 ± 0,7	1,2 ± 0,2	1360 ± 2	~ 0,3
946,8 ± 1,0	0,7 ± 0,2	1378,1 ± 1,5	0,7 ± 0,3
958,7 ± 0,5	3,7 ± 0,5	1408 ± 2	~ 0,1
966,5 ± 0,7	1,2 ± 0,2	1427 ± 2	~ 0,2
970,8 ± 0,4	6,0 ± 0,7	1448 ± 2	~ 0,2
988,3 ± 0,5	3,7 ± 0,5	1511 ± 2	~ 0,3
1012,5 ± 0,8	1,5 ± 0,3	1541,5 ± 1,5	0,5 ± 0,2
1023,9 ± 1,0	0,8 ± 0,2	1606 ± 2	~ 0,4
1037,7 ± 0,6	2,3 ± 0,3	1631,5 ± 1,5	0,4 ± 0,2
1067,7 ± 0,7	1,4 ± 0,3	1662 ± 2	~ 0,2
1109 ± 1	0,6 ± 0,2	1672,0 ± 1,5	0,5 ± 0,2
1154,0 ± 0,7	1,8 ± 0,3	(1716)	~ 0,1
1176,3 ± 0,8	1,2 ± 0,3	1799 ± 2	~ 0,15
1199,2 ± 1,0	0,5 ± 0,2	1839,5 ± 1,2	1,1 ± 0,4
1242 ± 2	~ 0,2		

а/ Относительные интенсивности определены на основании γ - γ -совпадений; б/ I_γ определена по схеме распада.

парированный изотоп ⁷⁷Rb мы получали примерно через 7 мин после конца облучения.

Спектры γ -лучей ⁷⁷Rb исследовались на γ -спектрометрах с Ge(Li) -детекторами /чувствительный объем 2,4 см³, разрешение 0,7 кэВ при энергии 100 кэВ и 41 см³ и 47 см³, разрешение 2,5 кэВ при 1 МэВ/. Калибровка по энергии и интенсивности проводилась с использованием стандартных источников ²⁴¹Am, ¹³³Ba, ²²⁶Ra и ⁶⁰Co.

Мы повторили измерения периода полураспада ⁷⁷Rb, наблюдая за изменением интенсивности наиболее сильных переходов, и подтвердили полученное ранее ^{1/} в нашей лаборатории значение $T_{1/2} = 3,9 \pm 0,1$ мин. При изучении γ -

спектра принадлежность γ -переходов распада ^{77}Rb устанавливалась по скорости убывания их интенсивностей. К распаду ^{77}Rb отнесено 79 γ -переходов; их энергии и интенсивности приведены в табл. 1. Спектр γ -лучей в интервале энергий 50 - 2000 кэВ, измеренный с детектором 47 см³, изображен на рис. 1.

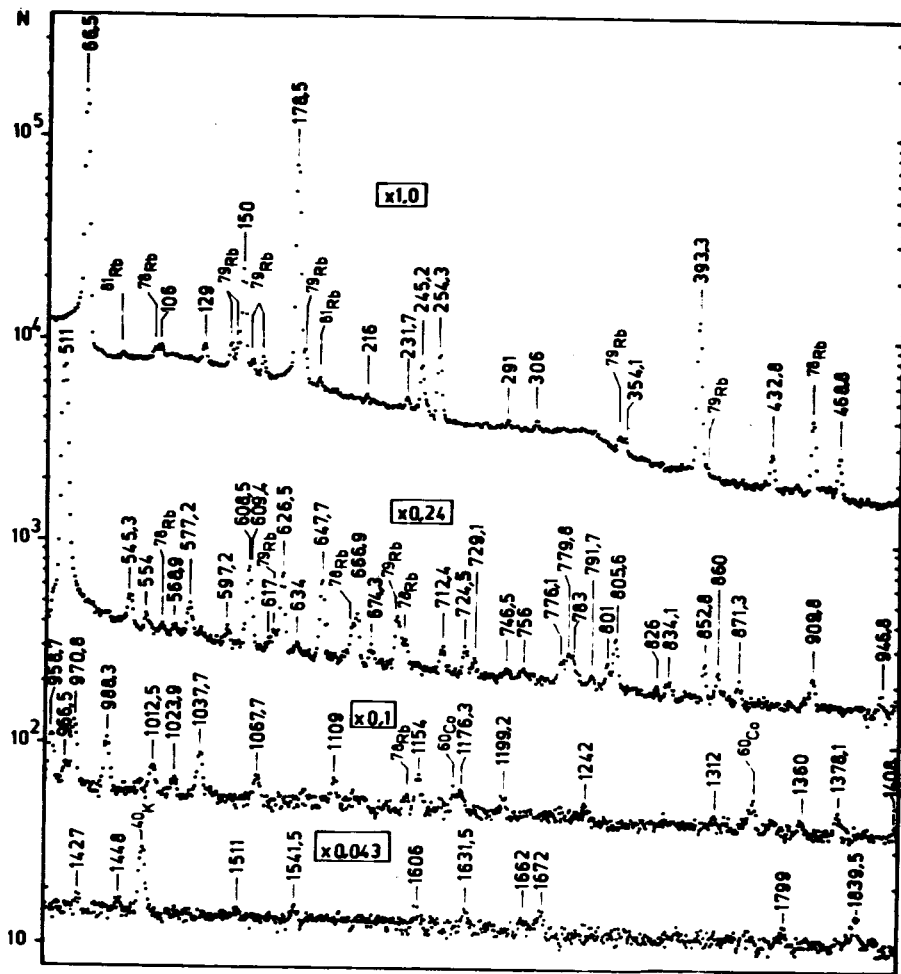


Рис. 1. Спектр γ -лучей ^{77}Rb , измеренный при помощи Ge(Li) - детектора объемом 47 см³.

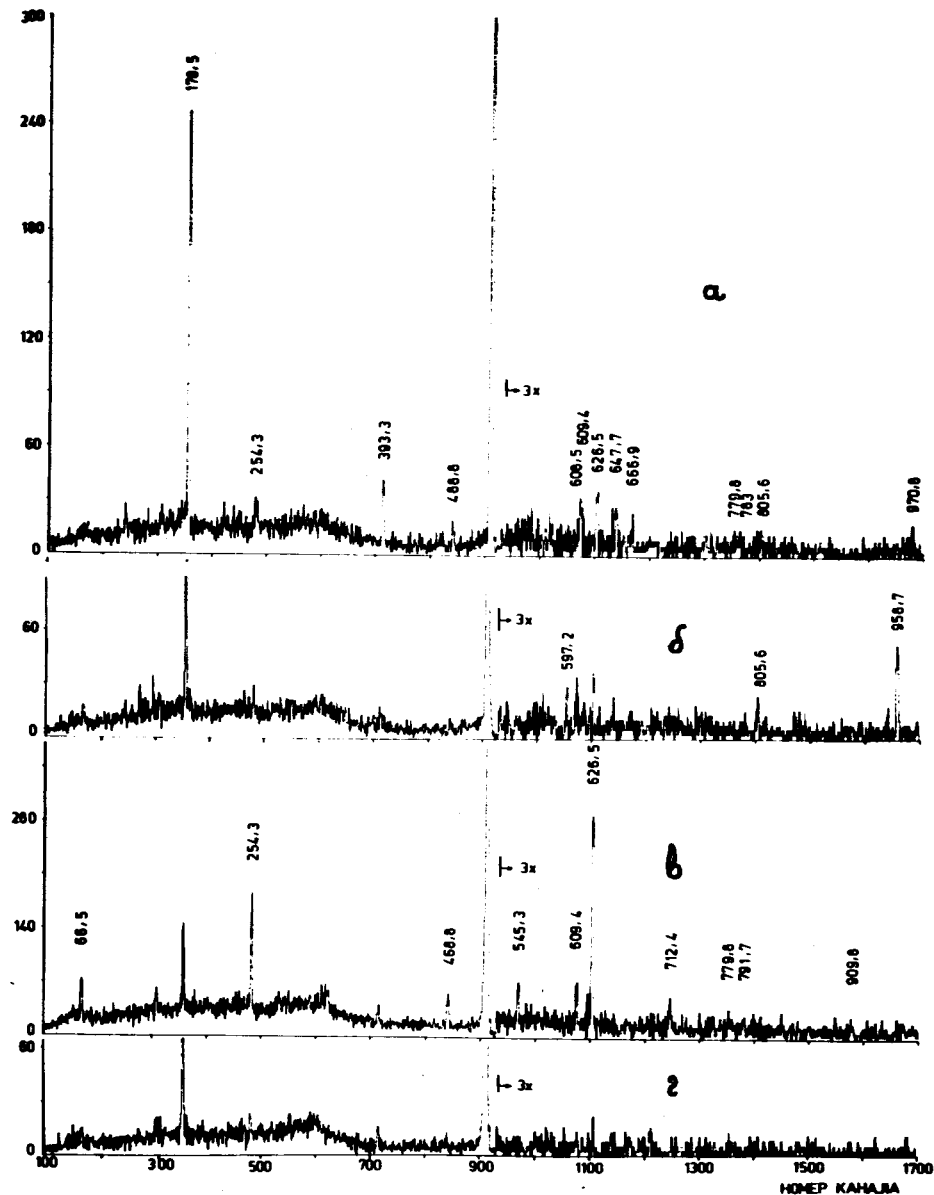


Рис. 2. Спектры γ -лучей в совпадении с /а/ 66,5 кэВ, /б/ 150 кэВ, /в/ 178,5 кэВ, /г/ фоном за энергией 178,5 кэВ.

Таблица 2

Результаты измерений γ - γ совпадений при распаде ^{77}Rb

66	150	178	254	393	469	511	545	577	597	608	609	626	648	667	712	792	806	910	959	971	988	
	+	+	+	+	+			+														
150																						+
178	+																					+
254	+	+																				+
393	+		+																			+
469	+			+																		+
511																						+
545	+																					+
577																						+
597																						+
608	+																					+
609	+																					+
626	+																					+
648	+																					+
667	+																					+
712																						+
792																						+
806	+																					+
910																						+
959																						+
971	+																					+
988	+																					+

Крестиками обозначены наблюдаемые совпадения

Измерение спектров γ - γ совпадений проводилось с помощью двух $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторов с чувствительными объемами 27 и 41 см^3 в диапазоне энергий 50 - 2500 кэВ и с временным разрешением 50 $\mu\text{сек}$. Полученная информация размерностью 4096 x 4096 каналов собиралась на магнитной ленте. Отдельные сечения рассортировывались программным путем после измерений. Результаты представлены в табл. 2. На рис. 2 приведены примеры спектров совпадений.

Спектр позитронов, возникающих при распаде ^{77}Rb , измерен нами с помощью $\text{Si}(\text{Li})$ -детектора /типа TFC-15, толщиной 15 мм , площадью 100 мм^2 /. Для определения граничной энергии позитронов график Ферми-Кюри исправлен с помощью стандартного источника на эффекты искажения за счет рассеяния и суммирования с аннигиляционными γ -квантами /рис. 3/. Использованный метод описан в работе ^{14/}. Граничная энергия позитронов равна $E_{\text{гр}\beta^+}/3860 \pm 150/$ кэВ .

Схема распада

Большинство обнаруженных γ -переходов размещено в предлагаемой схеме распада ^{77}Rb /рис. 4/. Уровни введены на основе анализа спектров γ - γ совпадений с учетом баланса энергий и интенсивностей переходов.

Среди низких возбужденных состояний ^{77}Rb при β -распаде наиболее сильно заселяется первый возбужденный уровень 66,5 кэВ . Поэтому мы считаем, что позитроны с $E_{\text{гр}} = 3860$ кэВ идут на этот уровень. Используя полученную таким образом разность масс $^{77}\text{Rb} - ^{77}\text{Rb} Q = 4950 \pm 150$ кэВ , мы рассчитали значения $\lg ft$ для β -переходов на уровни схемы рис. 4. При вычислении использовались теоретические отношения K/β^+ для разрешенных β -переходов ^{15/} и предполагалось, что интенсивность β -распада в основном состоянии мала /переход первого запрета/.

Полученные результаты позволяют, исходя из значений $\lg ft$ β -переходов и из способа разрядки уровней γ -переходами, ограничить возможные спины и четности некоторых уровней схемы рис. 4. Отметим, что

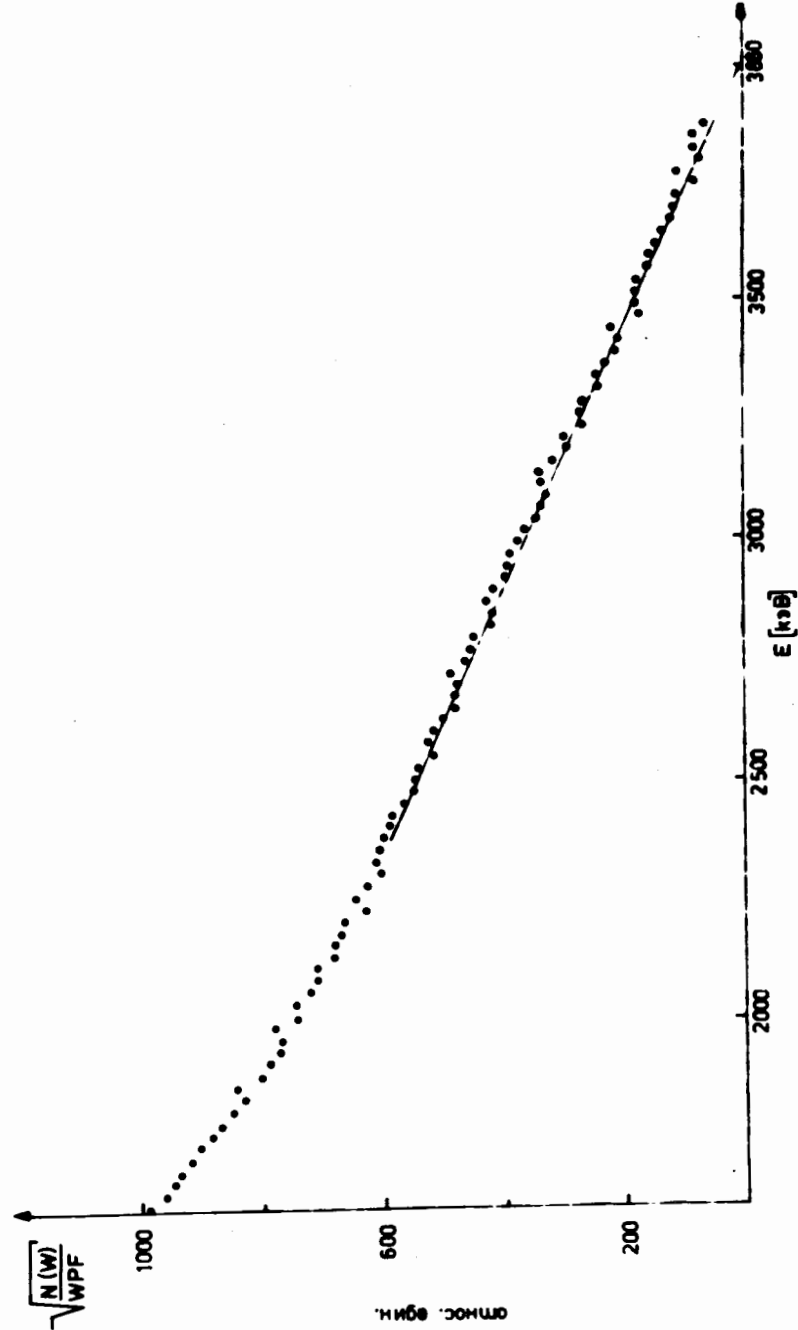


Рис. 3. График Ферми-Кюри β^+ -спектра ^{77}Rb .

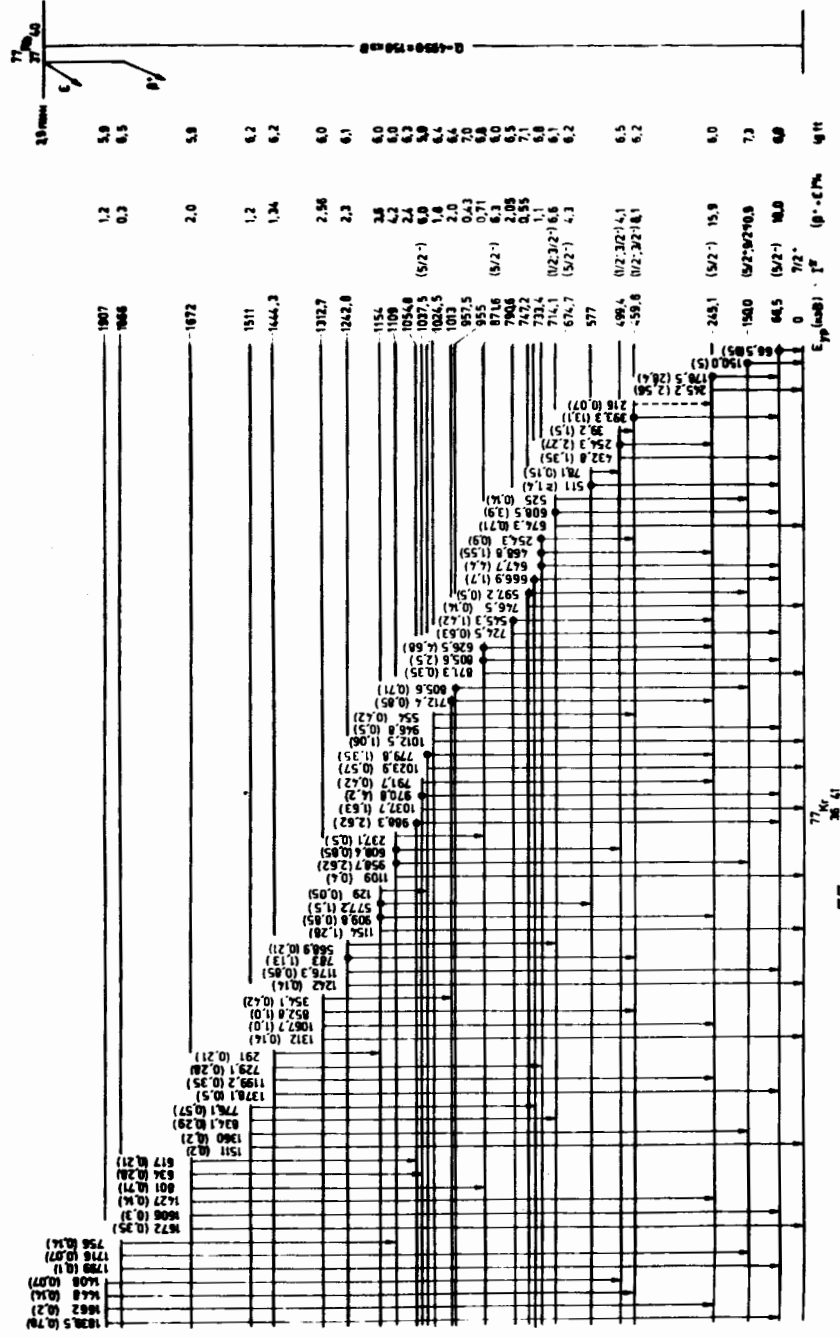


Рис. 4. Схема распада ^{77}Rb . Интенсивности переходов даны в % на распад в предположении, что переходы 66,5 и 39,3 кэВ имеют мультипольность E1 и M1 соответственно.

в этой области массовых чисел к разрешенным β -переходам можно относить переходы со значениями $\lg ft < 6,6$. Из совокупности данных о низколежащих уровнях ядер видно, что ядра с нечетным A имеют в этой области спины и четности $I^\pi = 1/2^- / 3/2^-, 5/2^-, 5/2^+, 7/2^+$ и $9/2^+$.

Основное состояние ^{77}Kr с $I^\pi = 7/2^+ / 3/2^-$, по-видимому, является одним из состояний, связанных с конфигурацией $n(g_{9/2})^3 / 6/1^-$. Такие состояния довольно часто появляются в этой области масс.

Уровень $66,5$ кэВ имеет $I^\pi = 5/2^-$. Разрешенный характер β -перехода на этот уровень ($\lg ft = 6,0$) определяет его отрицательную четность и ограничивает спин значениями от $1/2$ до $7/2$. $I^\pi = 1/2^-$ и $3/2^-$ исключаются, так как переход $66,5$ кэВ дает интенсивные совпадения с другими γ -переходами /разрешающее время - 50 нсек/. Это означает, что время жизни уровня $66,5$ кэВ меньше 100 нсек, а переход $66,5$ кэВ - типа E1. Из остающихся возможных $I^\pi = 5/2^-$ и $7/2^-$ выбираем $5/2^-$, т.к. $I^\pi = 7/2^-$ у низколежащих уровней ядер этой области не встречается.

Уровень 150 кэВ возбуждается, по-видимому, β -переходом первого запрета / $\lg ft = 7,3$ /, что исключает отрицательную четность и определяет возможные квантовые характеристики этого уровня, как $5/2^+$, $7/2^+$ или $9/2^+$. Учитывая, что основное состояние имеет $I^\pi = 7/2^+$, мы считаем, что спин и четность этого уровня $5/2^+$ или $9/2^+$. Этот уровень может являться членом мультиплета $n(g_{9/2})^3$.

Уровень $245,1$ кэВ заселяется β -переходом разрешенного типа ($\lg ft = 6,0$) и должен иметь отрицательную четность. Кроме того, он разряжается γ -переходами на уровень $66,5$ кэВ, $I^\pi = 5/2^-$, и на основное состояние с $I^\pi = 7/2^+$. Исходя из этой совокупности данных можно предположить, что его квантовые характеристики $-I^\pi = 5/2^-$.

На основе аналогичных соображений можно уровням $459,8$; $499,4$; $674,7$; $714,1$; $871,6$; $1037,5$ кэВ приписать спин и четность / $1/2^-$, $3/2^-$ /, / $1/2^-$, $3/2^-$ /, / $5/2^-$ /, / $1/2^-$, $3/2^-$ /, / $5/2^-$ /. и / $5/2^-$ /. соответственно.

Все известные ядра с нечетным числом нейтронов N от 39 до 47 имеют уровень $I^\pi = 1/2^-$ при энергии ниже

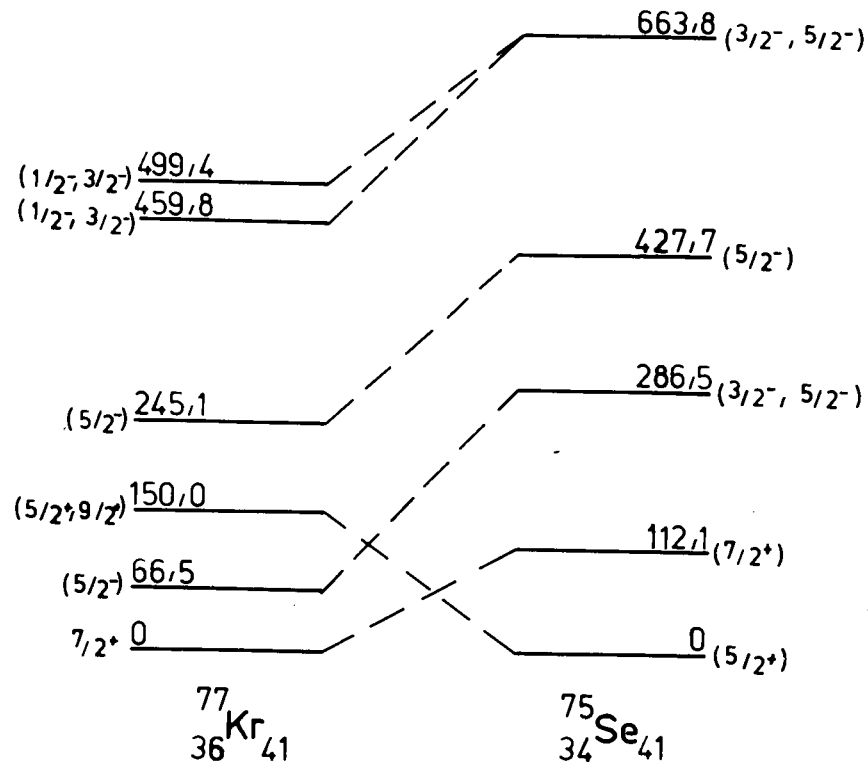


Рис. 5. Систематика низколежащих состояний ^{77}Kr и ^{75}Se .

250 кэВ. Исключение составляют ^{75}Se и ^{77}Kr - изотопы с $N = 41$. Проведем сравнение свойств этих двух ядер /рис. 5/. Отметим разные квантовые характеристики основных состояний: у ^{75}Se $I^\pi = 5/2^+$, а у ^{77}Kr $I^\pi = 7/2^+$. Довольно сильно изменяется расстояние между самыми низкими уровнями с отрицательной и положительной четностью. В то же время расстояния между нижними уровнями с отрицательной четностью почти не меняются. Возможно, это указывает на аналогию в свойствах нижних уровней с отрицательной четностью в этих ядрах.

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить К.Я.Громова за ценные замечания и корректуру текста и М.Яхима за приготовление масс-спектрированных источников.

Литература

1. R.Arit, V.A.Bystrov, W.Habenicht, E.Herrmann, V.I.Raiko, H.Strusny and H.Tyroff. *Nucl.Instr. and Meth.*, 102, 253 (1972).
2. J.W.Velandia, W.J.Holmes and G.G.Boswel. *J. of Inorg. and Nucl. Chemistry*, 34, 401 (1972).
3. J.Borchert. *Z. f. Physik*, 244, 388 (1971).
4. P.Charoenkwan. *Nucl.Instr. and Meth.*, 34, 93 (1965).
5. Л.Н.Зырянова. Уникальные бета - переходы. Изд. АН СССР, Москва - Ленинград, 1960.
6. M.Goldhaber and A.W.Sunyar. *Phys.Rev.*, 83, 906 (1951).

*Рукопись поступила в издательский отдел
16 сентября 1974 года.*