

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



7/2-77

P6 - 10486

Г-874

2500/2-77

К.Я.Громов, А.Ш.Хамидов

ЗАМЕЧАНИЯ К РАСПАДУ ^{167}Lu - ^{167}Yb

1977

P6 - 10486

К.Я.Громов, А.Ш.Хамидов*

ЗАМЕЧАНИЯ К РАСПАДУ ^{167}Lu - ^{167}Yb

Направлено в "Известия АН СССР" /сер. физ./

*Институт ядерной физики АН УзССР, г.Ташкент.

Институт ядерной физики
АН УзССР
БИБЛИОТЕКА

Громов К.Я., Хамидов А.Ш.

P6 - 10486

Замечания к распаду $^{167}\text{Yb} \rightarrow ^{167}\text{Lu}$

Сопоставляются результаты ранее опубликованных работ по распаду ^{167}Lu с целью определения спинов и четностей уровней ^{167}Yb введенных Майером и др. Для четырех уровней сделаны однозначные заключения о спинах и четностях; для всех уровней сделаны однозначные заключения об их четности. Обсуждается вопрос об аномалии в отношении ϵ/β^+ при распаде ^{167}Lu .

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

Gromov K.Ya., Khamidov A.Sh.

P6 - 10486

Comments to the Decay $^{167}\text{Yb} \rightarrow ^{167}\text{Lu}$

The results of previously published works on ^{167}Lu decay are compared with a view to determine the spins and parities for ^{167}Yb levels introduced by Maier et al. Unambiguous conclusions are made about the spins and parities for four levels; the same conclusions about the parities are made for all levels. The problem is discussed about the anomaly with respect to ϵ/β^+ at ^{167}Lu decay.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1977

В 1976 году были опубликованы две работы ^{/1,2/}, посвященные исследованию распада ^{167}Lu / $T_{1/2} = 55 \text{ мин.}$ В работах проведено детальное исследование излучения, возникающего при распаде ^{167}Lu . Построена схема распада этого ядра. Результаты работ в основном совпадают. В нашей работе ^{/1/} получены новые данные о спектре конверсионных электронов, что позволило определить мультипольности большего числа γ -переходов, чем в ^{/2/}. Б.Майер и др. ^{/2/} спектр конверсионных электронов не изучали, а пользовались результатами нашей более ранней работы ^{/3/}. Майер и др. ^{/2/} провели более полные исследования спектров γ - γ -совпадений. Это позволило им ввести в схему распада ^{167}Lu 12 уровней, которые в ^{/1/} не вводились. Кроме того, Майер и др. сделали вывод о наличии при распаде ^{167}Lu аномалии в отношениях интенсивностей электронного захвата и β^+ -распада. В настоящей работе мы сопоставляем результаты работ ^{/1/} и ^{/2/} с целью определения спинов и четностей уровней, введенных в ^{/2/}, и обсуждаем вопрос об аномалии в отношении ϵ/β^+ при распаде ^{167}Lu .

В табл. 1 представлены результаты анализа данных нашей работы ^{/1/} с целью определения спинов и четностей уровней, введенных в ^{/2/}. В первой и второй колонках даны предлагаемые Майером и др. ^{/2/} энергии, спины и четности уровней. В колонках 3 и 4 приведены энергии γ -переходов, которые могут связывать эти уровни с лежащими ниже, и их мультипольности. Все указанные здесь мультипольности определены в ^{/1/} впервые. В колонках 5 и 6 даны энергии этих лежащих ниже уровней, их спины и четности и асимптотические квантовые числа. Энергии γ -переходов и уровней /ко-

Таблица 1

Определение спинов и четностей уровней ^{167}Yb

$E_{ур}$ кэВ	I^{Π} /2/	$E_{у}$ кэВ	Мультиполь- ность	$E_{ур}$ кэВ	I^{Π}		I^{Π}	$E_{ур}$ кэВ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
569,40	$7/2^+, 9/2^+$	539,7	M1	29,66	$5/2^+$ $5/2$ /642/			
		443,0 ^a		125,9	$11/2^+$ $5/2$ /642/		?	
		356,36	E1	213,2	$3/2^-$ $3/2$ /521/	+	$5/2^+, 3/2^+$	569,45
		330,2		239,1	$5/2^-$ $3/2$ /521/			
628,47	-	559,7	M1	29,66	$5/2^+$ $5/2$ /642/	+	$7/2^+$	628,78
		594,6	M1	33,91	$7/2$ $5/2$ /642/			
		570,0	M1	58,54	$9/2^+$ $5/2$ /642/			
		197,8 ^б	E2+(M1)	430,9	$7/2^+$ $7/2$ /633/			
677,13	-	677,4	E1	0	$5/2^-$ $5/2$ /523/		?	
		464,4	E2	213,2	$3/2^-$ $3/2$ /521/	c	$7/2, 5/2, 3/2$	677,15
		437,2	M1	239,1	$5/2^-$ $3/2$ /521/			
		398,80	M1 + E2	278,2	$5/2$ $1/2^-$ /521/			
		368,85	M1 + E1	308,5	$5/2^-$ $5/2$ /512/			
1305,49	$5/2^-, 7/2^{\pm}$	1305,4	E1	0	$5/2^-$ $5/2$ /523/			
		1275,4		29,66	$5/2^+$ $5/2$ /642/			
		1127,4	E1	178,9	$9/2^-$ $5/2$ /523/	+	$7/2^+$	1305,64
		1092,5		213,2	$3/2^-$ $3/2$ /521/			
		677,4	E1	628,5	$7/2^+$?	

Таблица 1 /продолжение/

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1975,21	$7/2^+, 9/2^+$	1945,68 ^a		29,66	$5/2^+$ $5/2$ /642/			
		1941,1	E2	33,91	$7/2^+$ $5/2$ /642/			
		1849,0		125,9	$11/2^+$ $5/2$ /642/			
		1697,1 ^б		278,2	$5/2^-$ $1/2$ /521/			
		1555,3		419,6	$9/2^-$ $3/2$ /521/			
		1534,8		440,7	$7/2$ $1/2^-$ /521/	c	$(9/2)^+$	1975,18
		1403,6		571,6	$11/2^-$ $11/2$ /505/			
1255,8	E1	719,7	$7/2^-$					
1979,39	$7/2^+, 9/2^+$	1979,5	E1	0	$5/2^-$ $5/2$ /523/			
		1945,6 ^a		33,91	$7/2^+$ $5/2$ /642/			
		1740,7	E1	239,1	$5/2^-$ $3/2$ /521/	c		
		1548,4	E2(E1)	430,9	$7/2^+$ $7/2$ /633/	+	$(7/2)^+$	1979,53
		673,9	E2(E1)	1305,5	$7/2^+$			
		1920,9 ^б		58,54	$9/2^+$ $5/2$ /642/			
1800,8 ^б		178,9	$9/2^-$ $5/2$ /523/					
2052,77	$7/2^+, 9/2^+$	1973,8	E1	78,68	$7/2^-$ $5/2$ /523/			
		1926,2		125,9	$11/2^+$ $5/2$ /642/			
		1752,8		301,5	$11/2^-$ $5/2$ /523/	+	$9/2^+$	2052,46
		1735,3	E1	317,5	$7/2^-$ $3/2$ /521/			

Таблица 1 /продолжение/

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1995,36		1995,5		0	5/2 ⁻ 5/2 /523/			1995,61	
		1961,4	E2(E1)	33,91	7/2 ⁺ 5/2 /642/				
		1936,5	E2(E1)	58,54	9/2 ⁺ 5/2 /642/				
		1678,0 ^a		317,5	7/2 ⁻ 3/2 /521/	c	(7/2) ⁺		1995,61
		1555,3		440,7	7/2 ⁻ 1/2 /521/				
		1423,7		571,6	11/2 ⁻ 11/2 /505/				
1584,9 ^б		411,0	7/2						
2012,36		640 ^б	M1	1356,4	9/2 ⁺ , 11/2 ⁺			2012,49	
		1954,23 ^a		58,54	9/2 ⁺ 5/2 /642/				
		1933,5(3)	E2(E1)	78,68	7/2 ⁻ 5/2 /523/				
		1833,2(3)		178,88	9/2 ⁻ 5/2 /523/	+	(7/2, 9/2) ⁺		
		1582,0 ^б		430,9	7/2 ⁺ 7/2 /633/				
		1534,8 ^б		477,5	9/2 ⁻ 1/2 ⁻ /521/				
2013,27	5/2 [±] 7/2 ⁻	1384,2 ^б		628,5	7/2 ⁺			2013,12	
		2012,9		0	5/2 ⁻ 5/2 /523/				
		1983,2		29,66	5/2 ⁺ 5/2 /642/				
		1954,23 ^a		58,54	9/2 ⁺ 5/2 /642/				
		1824,8		188,66	1/2 ⁻ 1/2 /521/				
		991,0		1022,3	7/2⁺ 9/2 ⁺				
1974,01		1979,5 ^б	E1	33,91	7/2 ⁺ 5/2 /642/		9/2, 7/2, 5/2 ⁻	2013,12	
		1973,8	E1	0	5/2 ⁻ 5/2 /523/				
		1894,4		78,68	7/2 ⁻ 5/2 /523/				
		1665,2	E1	308,5	5/2 ⁻ 5/2 /512/	c	7/2, 5/2 ⁺		1973,68
		1656,1		317,5	7/2 ⁻ 3/2 /521/				
		1563,2		411,0	7/2 ⁻ 5/2 /512/				

Таблица 1 /продолжение/

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2330,46	7/2 ⁺ , 9/2 [±]	2271,5		58,54	9/2 ⁺ 5/2 /642/			2330,35
		2204,3		125,9	11/2 ⁺ 5/2 /642/			
		1910,8		419,6	9/2 ⁻ 3/2 /521/			
		1899,5		430,9	7/2 ⁺ 7/2 /633/	c	9/2 ⁺	
		1889,9		440,7	9/2 ⁻ 1/2 /521/	c		
		1701,8		628,5	7/2 ⁺			
		1541,9	E1	788,4	7/2 ⁻ , 9/2 ⁻			
		2296,2 ^б		33,91	7/2 ⁺ 5/2 /642/			
		2151,8 ^б		178,9	9/2 ⁻ 5/2 /523/			
		1758,8 ^б	E2, E1	571,6	11/2 ⁻ 11/2 /505/			

- ПРИМЕЧАНИЯ: 1. Буквой "а" в колонке 3 отмечены γ -переходы, которые наблюдались в работе/2/.
Буквой "б" - γ -переходы, наблюдавшиеся только в нашей работе/1/.
2. В колонке 7 знаком "+" отмечены γ -переходы, для которых в /2/ - наблюдались γ - γ -совпадения, "с" - слабые γ - γ -совпадения.

лонки 3 и 5/ даны по нашей работе^{/1/}. Знаком "а" в колонке 3 отмечены γ -переходы, которые наблюдались только в^{/2/}; знаком "б" - γ -переходы, обнаруженные в^{/1/}. В седьмой колонке знаком "плюс" в соответствующей строке отмечено, что в^{/2/} наблюдались γ - γ -совпадения, подтверждающие вводимый уровень. В колонке 8 представлены наши выводы о спинах и четностях вводимых уровней. В последней колонке дается наше значение энергии уровня.

Из табл. 1 видно, что мультипольности переходов 539,5 кэВ (M1) и 356,2 кэВ (E1) позволяют сделать заключение о четности и возможных спинах уровня 569,45 кэВ: $5/2$, $3/2^+$, а не $7/2$, $9/2^+$, как в^{/2/}. При этом γ -переход 443,0 кэВ, наблюдавшийся только в^{/2/}, должен был бы иметь мультипольность M3 или E4. Наблюдение такого перехода маловероятно. По-видимому, совпадение энергии перехода 443 кэВ с разностью соответствующих уровней случайно. Этот факт отмечен в колонке 8 знаком вопроса. Спин и четность уровня 628,8 кэВ устанавливаются однозначно: $7/2^+$. Для уровня 677,15 кэВ однозначно установлена четность; возможные значения спина этого уровня $7/2$, $5/2$ или $3/2$, и так далее.

Таким образом, исследование спектра конверсионных электронов и определение мультипольностей ряда переходов позволило сделать более обоснованные заключения о спинах и четностях уровней ^{167}Yb . Для четырех из двенадцати рассмотренных уровней сделаны однозначные заключения о спинах и четностях; для всех уровней сделаны однозначные заключения об их четности.

Рассмотрим вопрос об интенсивности позитронного распада ^{167}Lu и об аномалии в отношении ϵ/β^+ при распаде ^{167}Lu . Майер и др.^{/1/} определяли интенсивность позитронов ^{167}Lu по интенсивности аннигиляционного излучения. Она оказалась равной 1,82% на один распад ^{167}Lu . Указывалось, что это значение в 15 раз больше значения, полученного в нашей лаборатории^{/4/} в 1964 г. В связи с этим обсудим несколько подробнее результаты работы^{/4/}. Агеев и др.^{/4/} изучали позитро-

ны, возникающие в цепочке распадов ^{167}Lu 55 мин, ^{167}Yb 17 мин, ^{167}Tm с помощью бесфонового бета-спектрометра с трехкратной фокусировкой и наблюдали три компонента позитронов с граничными энергиями 640 ± 20 кэВ, 1400 ± 100 кэВ и 2060 ± 100 кэВ. Интенсивности компонентов были определены сравнением с интенсивностями конверсионных линий ^{167}Tm как $0,4 \pm 0,1\%$, $0,07 \pm 0,02\%$ и $0,05 \pm 0,02\%$ на распад, соответственно. В ряде работ^{/5/} было показано, что при распаде ^{167}Yb возникают позитроны с граничной энергией 639 ± 4 кэВ и интенсивностью $0,49 \pm 0,12\%$. Поэтому мягкая компонента позитронов, обнаруженных при распаде ^{167}Lu в равновесии с ^{167}Yb , была приписана дочернему ^{167}Yb , а две другие - распаду ^{167}Lu . Подчеркнем, что таким образом интенсивности позитронов при распаде ^{167}Lu можно считать определенными двумя разными методами: сравнением с интенсивностью конверсионных линий ^{167}Tm и сравнением с интенсивностью позитронов ^{167}Yb . Мы можем указать один из источников завышения интенсивности позитронов в^{/2/}. В спектре конверсионных электронов ^{167}Lu мы наблюдали К-конверсионную линию γ -перехода 510,3 кэВ /рис.1/. В списке γ -переходов у Майера и др.^{/2/} такого перехода нет, и его интенсивность, очевидно, включалась в интенсивность аннигиляционного пика. По нашим^{/1/} оценкам интенсивность γ -лучей 510,3 кэВ составляет примерно половину интенсивности аннигиляционного пика, полученной Майером. Аннигиляционный пик в γ -спектре ^{167}Lu находится между пиками γ -лучей с энергией 510,3 кэВ и 513,1 кэВ, и вся эта группа трудно поддается разложению на компоненты. Все же по нашим оценкам интенсивность аннигиляционного пика была существенно меньше интенсивности γ -лучей 510,3 кэВ и 513,1 кэВ. Заметим, что мы использовали масс-сепарированные источники ^{167}Lu , в которых содержание изотопов с соседними массами не превышало 0,1%. В источниках, изучавшихся в^{/2/}, содержались другие изотопы лютеция / ^{168}Lu , ^{169}Lu и другие/. Таким образом, мы считаем приведенные аргументы достаточными, чтобы отнести результаты изучения спектра по-

зитронов ^{167}Lu в $^{4/2}$ к более достоверным, чем новый результат $^{2/2}$.

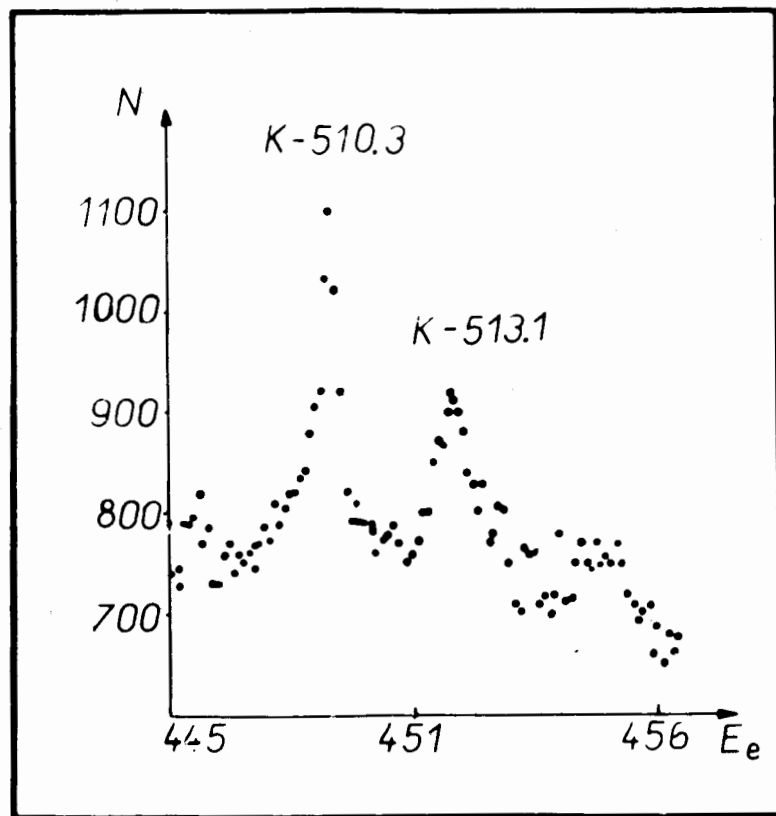


Рис. 1. Участок спектра конверсионных электронов ^{167}Lu .

Майер и др. $^{2/2}$ вычислили интенсивности заселения уровней ^{167}Yb при распаде ^{167}Lu по разностям интенсивностей γ -переходов, идущих на и с соответствующими уровнями. Мы таких вычислений не выполняли, так как считали их для столь сложного распада, каким является случай ^{167}Lu , необоснованными. Дело в том, что при этих расчетах интенсивности заселения нижних

уровней ^{167}Yb получаются как разности сравнительно больших чисел и ошибки в них, естественно, велики. Интенсивность γ -переходов, размещенных в схеме распада, составляет, по нашим данным, 80% интенсивности всех обнаруженных γ -переходов /а не 90%, как в $^{2/2}$ /. Кроме того, следует отметить, что γ -спектр ^{167}Lu настолько сложен, что в экспериментальных спектрах в области больших энергий наблюдалось заметное превышение фона, которое, по-видимому, образуется из большого числа неразрешенных слабых пиков γ -лучей. Неразмещенные и еще не обнаруженные γ -переходы могут существенно изменить баланс интенсивностей на нижних уровнях. Неудивительно поэтому, что авторы $^{2/2}$ пришли к выводу об аномалии в отношениях ϵ/β^+ .

Для пояснения ситуации рассмотрим пять нижних возбужденных состояний ^{167}Yb . В табл. 2 приведены данные о заселении нижних уровней ^{167}Yb при распаде ^{167}Lu по данным Майера и др. $(\epsilon+\beta^+)^{2/2}$, там же приведены оценки пределов $(\epsilon+\beta^+)^{1/1}$, вычисленные по данным нашей работы. С использованием расчетных отношений интенсивностей электронного захвата и позитронного захвата $(\epsilon/\beta^+)^{6/6}$ рассчитаны ожидаемые интенсивности позитронов /последние две колонки/. Как видно из таблицы, ожидаемая по $^{2/2}$ интенсивность позитронов на рассмотренные уровни больше 6,5%. Это более чем в три раза больше интенсивности позитронов /1,82%/, определенной в $^{2/2}$. Аномалия существенно увеличится, если учесть не нижние, а все уровни ^{167}Yb . Если же принять по Агееву и др. $^{4/4}$ интенсивность β^+ -компоненты, связанной с распадом на нижние уровни //2060 \pm 100/ кэВ, /0,05 \pm 0,02%//, то "аномалия" возрастает в 40 раз.

В работах $^{1,2/}$ уровни ^{167}Yb вводились только на основе экспериментов по γ - γ -совпадениям. Мы провели "игру с суммами", а именно искали разности энергий неразмещенных в схеме распада γ -переходов, совпадающие с разностями энергий нижних /до 178,9 кэВ/ уровней. Если отобрать среди полученных уровней непротиворечивые, с точки зрения правил отбора, остается около 30 возможных дополнительных уровней. Интен-

Таблица 2

К вычислению интенсивностей β^+ -распада ^{167}Lu на уровни ^{167}Yb

$E_{ур}$ кэВ	$I K^\pi [N n_z \Lambda]$	$(\epsilon + \beta^+)%$	$(\epsilon + \beta^+)%$	ϵ/β^+	$\beta^+%$	$\beta^+%$
		/2/	/1/		/2/	/1/
0	5/2 5/2 ⁻ /523/	< 5	-	3,6	< 1,1	
29,66	5/2 5/2 ⁺ /642/	10,1	≤ 4,5	4,0	2	≤ 0,9
33,91	7/2 5/2 ⁺ /642/	4,8	≤ 0,5	4,0	1	≤ 0,1
58,54	9/2 5/2 ⁺ /642/	< 6,3	≤ 5,0	4,3	< 1,2	≤ 1,0
78,68	7/2 5/2 ⁻ /523/	7,6	≤ 10	4,4	1,4	≤ 1,9
125,91	11/2 5/2 ⁺ /642/	5,3	-	4,5	1,0	-
			Σ		> 6,5	

Таблица 3

Сравнение $\log ft$ для некоторых β -переходов при распаде ^{167}Lu по /2/ с $\log ft$ аналогичных переходов при распаде ^{169}Lu и ^{171}Lu

β -переход				$\log ft$		
I^π	$K [N n_z \Lambda] \rightarrow I^\pi$	$K [N n_z \Lambda]$		$^{167}\text{Yb} /2/$	$^{169}\text{Yb} /7/$	$^{171}\text{Yb} /8/$
7/2 ⁺	7/2 /404/	-5/2 ⁺	5/2 /642/	6,7	9,1	9,9
"		-7/2 ⁺	"	7,0	8,9	9,6
"		-9/2 ⁺	"	> 6,9	8,9	9,8
"		-7/2 ⁻	5/2 /523/	6,8	8,1	8,2

сивность γ -переходов, идущих с них на нижние уровни, составляет ~13% на распад ^{167}Lu . Этот пример иллюстрирует возможность снятия "аномалии" в отношении ϵ/β^+ . Заметим, что в^{/2/} следовало бы отметить также и аномально низкие значения $\log ft$ для β -переходов на нижние уровни. В табл. 3 значения $\log ft$, полученные в^{/2/}, сравниваются со значениями $\log ft$ для аналогичных β -переходов при распаде соседних изотопов лютеция. Мы видим, что во всех случаях в^{/2/} значения $\log ft$ занижены. Изложенное выше позволяет, по нашему мнению, считать, что сделанные Майером и др.^{/2/} выводы о наблюдении при распаде ^{167}Lu аномалии в отношении интенсивностей электронного захвата и β^+ -распада, по меньшей мере, преждевременны.

Авторы глубоко признательны д-ру И.Звольскому за полезные дискуссии.

Литература

1. а/ Gromov K.Ya. e.a. *Z.Phys.*, 1976, A277, p.395.
б/ Вылов Ц. и др. ОИЯИ, Р6-9369, Дубна, 1975.
2. Meijer B.J., De Boer F.W.N., Goudsmidt P.F.A. *Nucl. Phys.*, 1976, A259, p.2, 213.
3. Абдуразаков А.А. и др. *Изв. АН СССР, сер. физ.*, 1971, 35, с.698.
4. Агеев В.А. и др. В кн.: *Программа и тезисы докладов XIV ежегодного совещания по ядерной спектроскопии*, Тбилиси. "Наука", М., 1964, с.63.
5. Ван Чуань-пэн, Громов К.Я. и др. *Изв. АН СССР, сер. физ.*, 1964, 28, с.252.
Гасиор М., Громов К. и др. В кн.: *Тезисы докладов XXVI Совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра*. "Наука", Л., 1976, с.117.
6. Джелепов Б.С., Зырянова Л.Н., Суслов Ю.П. *Бета-процессы*. "Наука", Л., 1972.
7. Бонч-Осмоловская Н.А. и др. *Изв. АН СССР, сер. физ.*, 1973, 37, с.972.
8. Бонч-Осмоловская Н.А. и др. *Изв. АН СССР, сер. физ.*, 1974, 38, с.2516.

Рукопись поступила в издательский отдел
9 марта 1977 года.