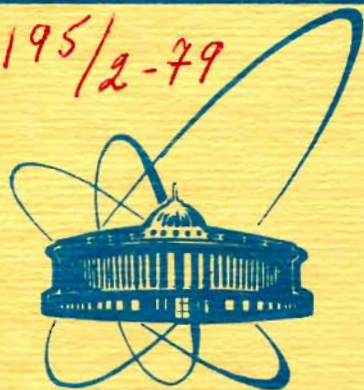


2195/2-79



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

A-50

11/VI-79

P6 - 12220

Б.А.Аликов, В.Андрейчев, В.В.Кузнецов,
Г.И.Лизурей, Н.З.Марупов, К.М.Муминов,
Т.М.Муминов, У.С.Салихбаев, Р.Р.Усманов,
Е.Г.Цой

ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕН ЖИЗНИ

ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ ^{159}Er И ^{161}Er

1979

P6 - 12220

Б.А.Аликов,¹ В.Андрейчев, В.В.Кузнецов,
Г.И.Лизурей, Н.З.Марупов,¹ К.М.Муминов,¹
Т.М.Муминов,¹ У.С.Салихбаев,¹ Р.Р.Усманов,¹
Е.Г.Цой²

ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕН ЖИЗНИ
ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ ¹⁵⁹Ег И ¹⁶¹Ег

Направлено в "Nukleonika"

¹ Самаркандский государственный университет.

² Институт ядерной физики АН УзССР, Ташкент.

Аликов Б.А. и др.

P6 - 12220

Измерение времен жизни возбужденных состояний ^{159}Er и ^{161}Er

Методом задержанных совпадений при распаде ^{159}Tm и ^{161}Tm измерены времена жизни возбужденных состояний с энергиями 59,3 и 182,6 кэВ в ^{159}Er и 59,5; 143,9; 172,1; 189,4; 266,4 и 267,5 кэВ в ^{161}Er . Проведен анализ вероятностей электромагнитных переходов, разряжающих исследуемые уровни.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований, Дубна 1978

Alikov B.A. et al.

P6 - 12220

Measurement of Lifetimes of ^{159}Er and ^{161}Er Excited States

Lifetimes of 59.3 and 182.6 keV excited states in ^{159}Er and those at 59.5, 143.9, 172.1, 189.4, 267.5, and 267.4 keV in ^{161}Er have been measured at the decay of ^{159}Tm and ^{161}Tm by the delayed coincidence method. Probabilities of electromagnetic transitions which discharge the investigated levels are analyzed.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 1979

1. ВВЕДЕНИЕ

Радиоактивный распад ^{159}Tm - ^{159}Er изучался в ^{1-5/}. В работе ^{4/} периоду полураспада ^{159}Tm приписано значение $T_{1/2} = 9,0 \pm 0,4$ мин. Предложена схема распада, включающая в себя 12 возбужденных состояний ^{159}Er , идентифицированных как первые члены ротационных полос $3/2^-/521/$, $5/2^-/523/$, $\{3/2^+/400/+/651/\}$, $11/2^-/505/$ и $7/2^-/514/$, и измерены периоды полураспада уровней $9/2^+$, 182,6 кэВ / $T_{1/2} = 310 \pm 30$ нс/ и $11/2^-$, 429,4 кэВ / $T_{1/2} = 550 \pm 150$ нс/. Свойства возбужденных состояний - членов вращательных полос ^{159}Er изучались также в ядерных реакциях типа $(^{12}\text{C}, 3n)$, $(^{40}\text{Ar}, 3n)^{6,7/}$, $(\alpha, 7n)^{8/}$. Значения периодов полураспада изомерных состояний $9/2^+$ и $11/2^-$ полученные в работе ^{7/}, согласуются со значениями, определенными в работе ^{4/}, и равны соответственно $T_{1/2} = 325 \pm 30$ нс и $T_{1/2} = 600 \pm 60$ нс.

Свойства возбужденных состояний ^{161}Er изучались как при радиоактивном распаде ^{161}Tm ^{9-11/}, так и в ядерных реакциях ^{12-16/}. Наиболее полная схема распада $^{161}\text{Tm} \rightarrow ^{161}\text{Er}$ построена авторами работы ^{11/}. В этом ядре также обнаружены возбужденные состояния ротационных полос типа $3/2^-/521/$, $5/2^-/523/$, $11/2^-/505/$, $5/2^+/642/$ и др.

Поиски изомерных состояний ^{161}Er в ^{14/} привели к обнаружению состояний $9/2^+$, 189,4 кэВ и $11/2^-$, 396,4 кэВ. Авторами работы ^{16/} приписаны этим состояниям значения $T_{1/2} = 70 \pm 20$ нс и $T_{1/2} = 7,5$ мкс соответственно.

В настоящей работе были предприняты попытки измерить времена жизни нижних возбужденных состояний с энергиями 59,3 и 182,6 кэВ в ^{159}Er и 59,5; 143,9; 172,1; 189,4; 266,4 и 267,5 кэВ в ^{161}Er .

Первоначальные результаты наших исследований опубликованы в /17/.

2. РАДИОАКТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследования проводились с использованием изобарного источника с $A = 159$ и моноизотопного источника ^{161}Tm , получаемых в реакциях глубокого расщепления тантала протонами с энергией $E_p = 660 \text{ МэВ}$ на синхроциклотроне ОИЯИ.

Изотоп ^{159}Tm выделялся непосредственно из облученной на выведенном пучке синхроциклотрона в течение 10-15 мин танталовой мишени при помощи масс-сепаратора /18/.

Для получения радиоактивного источника ^{161}Tm танталовые мишени облучались в течение ~ 0,5-1 ч на внутреннем пучке синхроциклотрона. Из облученных мишеней химическим путем /19/ выделялся элемент тулий, который затем разделялся по изотопам на электромагнитном масс-сепараторе /20/.

Аппаратура

Измерения времен жизни возбужденных состояний $^{159,161}\text{Er}$ проводились методами $\gamma\gamma$ - и $e\gamma$ -задержанных совпадений на установках /21,22/, в которых использовались магнитно-линзовый β -спектрометр, сцинтилляционные γ -спектрометры с пластическими сцинтилляторами NE 104 $\phi 25 \times 25 \text{ мм}$ и кристаллами NaJ(Tl) $\phi 40 \times 40 \text{ мм}$ и $\phi 60 \times 5 \text{ мм}$, спектрометр с полупроводниковым Si(Li) -детектором и безжелезный β -спектрометр с тороидальным магнитным полем СТ 2.

Временные спектры обрабатывались по программам /23/ "LIFTIM" и "GEXFIT" на ЭВМ CDC-6500.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

3.1. Времена жизни возбужденных состояний с энергиями 59,3 и 182,6 кэВ ^{159}Er

На установке $e\gamma$ задержанных совпадений, собранной на базе магнитно-линзового β -спектрометра и сцинтилляционного

детектора / NE 104 $\phi 25 \times 25 \text{ мм}$, ФЭУ ХР 1020/, при распаде $^{159}\text{Tm} \rightarrow ^{159}\text{Er}$ измерялись совпадения γ -лучей с L-электронами внутренней конверсии перехода с энергией 59 кэВ. Сравнение временного распределения γ -L 59 совпадений с γ - β^- распределением ^{60}Co позволило нам оценить значение периода полураспада первого возбужденного состояния с энергией 59,3 кэВ ^{159}Er как $T_{1/2} \leq 0,2 \text{ нс}$.

На рис. 1 приведена кривая задержанных совпадений γ -лучей с конверсионными электронами $K84 + L38$ ^{159}Tm , полученная на временном спектрометре, в котором использовался тороидальный β -спектрометр СТ 2 и спектрометр со сцинтилляционным детектором с кристаллом NaJ(Tl) $\phi 40 \times 40 \text{ мм}$. Анализ этого временного распределения позволил определить значение периода полураспада возбужденного состояния с энергией 182,6 кэВ ^{159}Er равным $T_{1/2} = 340 \pm 20 \text{ нс}$. Этот результат

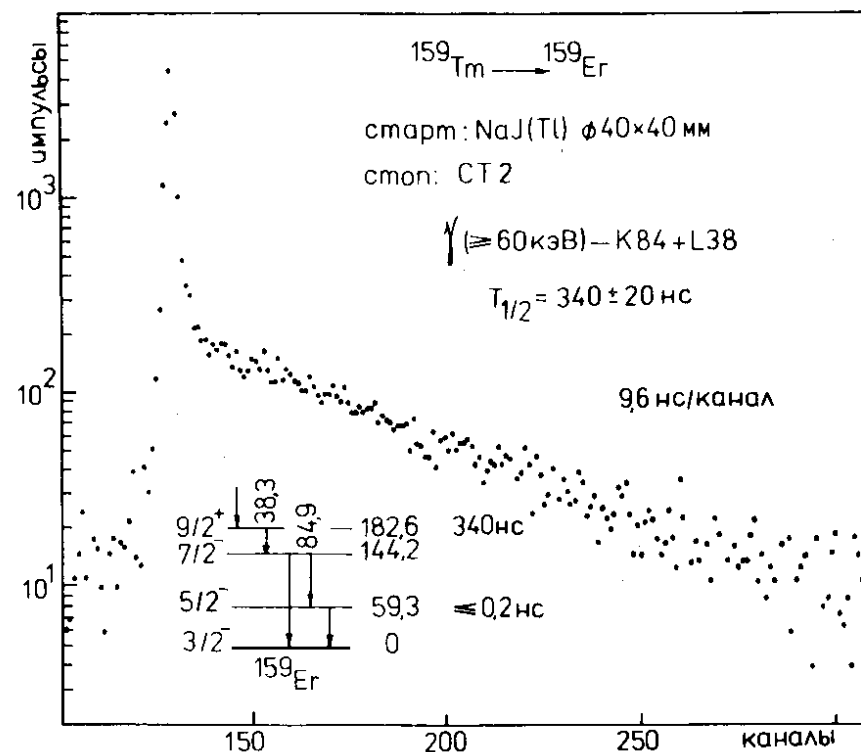


Рис. 1

находится в хорошем согласии со значениями, полученными в работах /4,6/.

3.2. Времена жизни возбужденных состояний с энергиями 59,5; 143,9; 172,0; 189,4; 266,4 и 267,5 кэВ ¹⁶¹Er

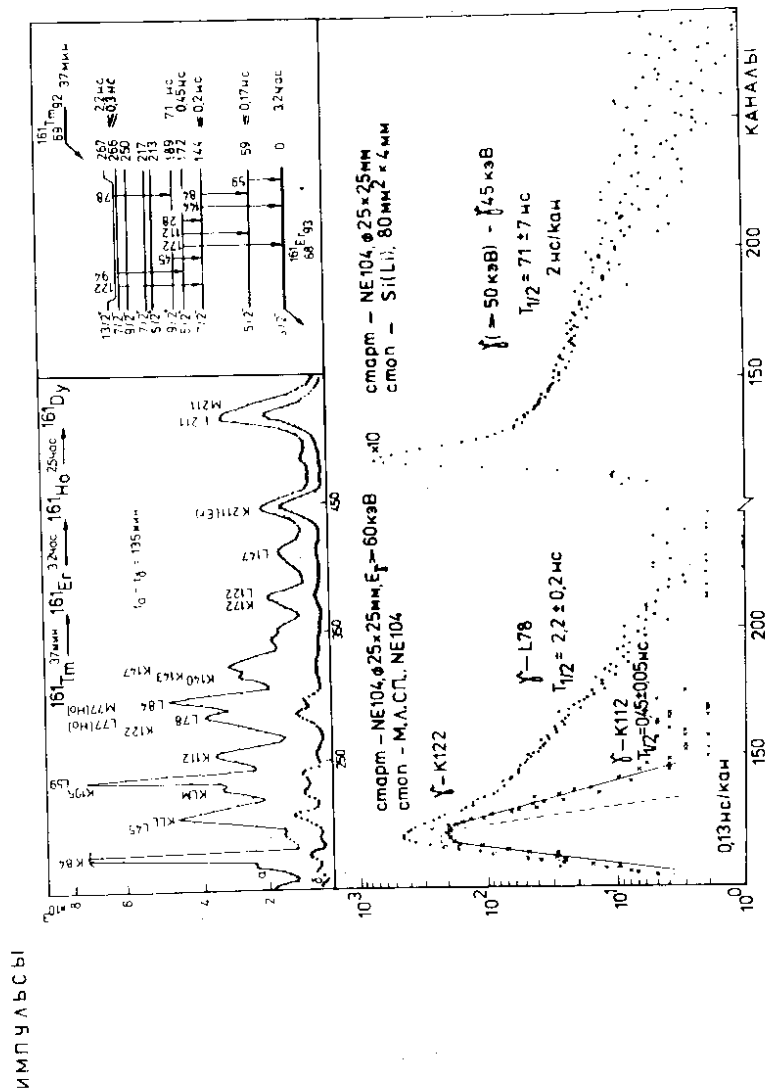
На рис. 2 и 3 приведены участки спектра конверсионных электронов, отдельные временные распределения измеренных нами совпадений при распаде ¹⁶¹Tm, фрагмент схемы распада ¹⁶¹Tm → ¹⁶¹Er.

Проведенный анализ временных распределений γ - L59, γ - K84 и γ - L84 совпадений, измеренных при помощи временного спектрометра с использованием магнитно-линзового β-спектрометра, позволил оценить значения периодов полураспада первого и второго возбужденных уровней ротационной полосы основного состояния ¹⁶¹Er как T_{1/2} ≤ 0,17 нс и T_{1/2} ≤ 0,20 нс соответственно. Временные спектры сравнивались с соответствующими кривыми мгновенных совпадений ⁶⁰Co.

Время жизни уровня 172,1 кэВ было определено из сравнения временных кривых γ-β⁻ ⁶⁰Co /на рисунке пунктирная кривая/ и γ - K112 ¹⁶¹Tm как T_{1/2} = 0,45 ± 0,05 нс. Такое же значение было получено при измерении γ - K172 + L122 - совпадений.

Период полураспада уровня с энергией 189,4 кэВ ¹⁶¹Er был измерен на временном спектрометре с использованием сцинтилляционного (NE104) и Si(Li)-детекторов в совпадениях комптоновского распределения γ-лучей с энергиями ≥ 50 кэВ с γ-лучами перехода 45 кэВ /рис. 2/. Полученное в этих измерениях значение T_{1/2} = 71 ± 7 нс согласуется со значением времени жизни уровня 189,4 кэВ, измеренным на установке, собранной на базе тороидального β-спектрометра СТ 2 и спектрометра со сцинтилляционным детектором (NaJ(Tl)), - T_{1/2} = 75 ± 3 нс /рис. 3/ и уточняет значение T_{1/2} = 70 ± 20 нс /16/.

В нижней части рис. 3 приведен участок спектра электронов внутренней конверсии ¹⁶¹Tm, измеренный на спектрометре СТ 2.



Нами были также измерены задержанные совпадения γ -лучей с K122+L78 конверсионными электронами ^{161}Tm . Эти измерения проводились на установке, собранной на базе магнитно-линзового β -спектрометра и спектрометра со сцинтиляционным детектором / NE 104 ϕ 25x25 мм/. На правом склоне временного распределения проявились два компонента - мгновенный с $T_{1/2} \leq 0,3$ нс и задержанный с $T_{1/2} = 2,2 \pm 0,2$ нс. Как уже указывалось выше, в γ -K172+L122 -совпадениях компонент с $T_{1/2} = 2,2$ нс не был наблюден, поэтому уровню 267,5 кэВ, разряжающемуся переходом 78 кэВ, приписано значенные времена жизни $T_{1/2} = 2,2 \pm 0,2$ нс, а уровню 266,4 кэВ, разряжающемуся переходом 122 кэВ, - $T_{1/2} \leq 0,3$ нс.

4. ВЕРОЯТНОСТИ γ -ПЕРЕХОДОВ В $^{159}, ^{161}\text{Er}$

Из экспериментальных значений времен жизни, данных об интенсивностях и мультипольном составе γ -переходов определены приведенные вероятности электромагнитных переходов, разряжающих исследуемые уровни ^{159}Er и ^{161}Er . Экспериментальные значения вероятностей переходов сравниваются с рассчитанными одночастичными оценками по Вайскопфу^{/24/} и Нильссону^{/25/} / F_W - фактор торможения по Вайскопфу, F_N^p и F_N^- - факторы торможения по Нильссону с учетом парных корреляций и без учета/. Полученные значения вероятностей $3(\sigma L)_{\text{ЭКСП}}$ и одночастичные факторы торможения $F(\sigma L) = \frac{B(\sigma L)_{\text{ТЕОР}}}{B(\sigma L)_{\text{ЭКСП}}}$ приведены в таблице.

Вероятности рассматриваемых переходов согласуются с имеющейся систематикой вероятностей аналогичных переходов в соседних деформированных ядрах^{/26/}.

Из таблицы следует, что экспериментальные вероятности M1-переходов хорошо согласуются с оценками по Нильссону, а для E2-переходов расхождения достигают 4 порядков. Очевидно, что это связано с коллективным характером рассматриваемых E2-переходов. В этом случае удовлетворительное согласие теории с экспериментом можно получить при учете кориолисова взаимодействия.

Из величины приведенной вероятности E2-компонента внутривращательного перехода 78 кэВ /13/2⁺ → 9/2⁺/ в ^{161}Er мож-

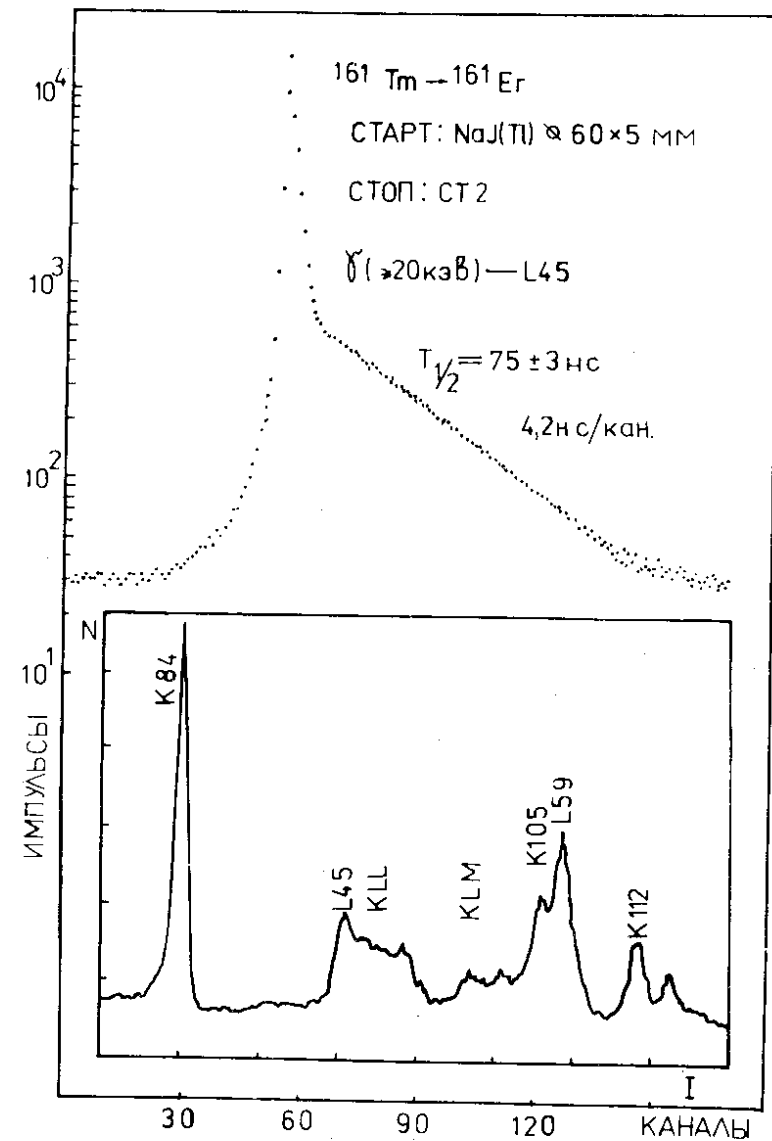


Рис. 3

Таблица 1

Вероятности γ -переходов в 139,161 Ег

Ур. каб Т/2, °	Е _γ каб	212Mn ²⁺ λ		δ _γ состояние	δ _γ состояние	д.полн. /27/	В(δ _γ)	F _κ	F _λ	F _ρ
		Начальное состояние	Конечное состояние							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
59,3 ←2-10	59,3	53521	33521	159 Ег 88	MI	1,4+1	≥ 5,6-2	←3,2+1	←6,2-1	ротц.
182,6 3,4-7	38,3	(95642)	73521	161 F ⁺ 93	←1-1 E2	≥ 2,3	≥ 2,3	←2,2-3	3,5	ротц. 9,2-1
59,5 ←1,7-10	59,5	53521	33521	68 F ⁺ 93	MI	1,3+1	≥ 7,7-2	←2,3+1	←5,8-1	ротц.
143,9 ←2-10	84,4	73521	53521	4-3 E2	E2	≥ 1,25-1	≥ 1,25-1	←4,2-2	←1,2	ротц.
	143,9		33521	5-2 E2	MI	4,8	≥ 4,8-2	←3,7+1	←1,2	ротц. ротц.
					E2	7,9-1	≥ 4,8-1	←1,1-2		ротц. ротц.
					E2		≥ 2,8-1	←1,9-2		

Таблица 1 / продолжение /

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
172,06 4,5-10	28,2	55523	73521	7-3 MI	2,5+1	6,1-2	2,9+2	2,2-1	2,0-1
	112,6		53521	E2	7,7-2	6,8-2	1,7-4	1,5-5	1,5-5
	172,05		33521	MI	1,0-2	1,8+2	7,9-1	7,2-1	7,2-1
				5-3 E2	2,1	5,7-3	9,1-1	4,0-3	3,4-4
				MI		4,7-3	3,8+2	4,0	3,6
				1,5-2 E2	6,2-1	3,4-3	1,5	4,5-3	3,9-4
189,4 7,4-8	45,6	95642	73521	E1	5,0-1	4,2-7	8,2+3	4,0	5,6-2
266,4 ←3-10	16,7	75523	93521	MI	9,3+1	≥ 1,65-2	←1,1+2	←1,4-1	←1,3-1
	94,4	55523	55523	E2	3,7	≥ 2,6	←2,0-3	←1,4-1	ротц.
	122,5		73521	MI		≥ 8,85-3	←2,0+2	←1,2	←1,1
				3-2 E2	1,6	≥ 2,5-2	←2,05-1	←6,4-4	←5,5-5
267,5 2,2-9	206,9	53521	53521	MI	3,75-1	≥ 7,3-4	←2,4+3	←2,0+1	←1,8+1
	266,3	33521	33521	E2	1,0-1	≥ 7,65-3	←6,8-1	←2,0-3	←1,7-4
	78,1	135642	95642	E2	7,9	1,0	5,2-3		ротц.

Примечание: Теоретические значения равновесной деформации ϵ_2 и ϵ_4 взяты из работы /28/. Запись типа 2,2-3 означает 2,2·10⁻³. Приведенные вероятности даны в единицах $e^2/6L$ для электрических и /я.м./² для магнитных переходов.

но определить значение внутреннего квадрупольного момента и параметра квадрупольной деформации полосы $5/2^+ / 642/$: $Q_0 = /6,8 \pm 0,3/ \text{ б}$ и $\epsilon_2 = 0,26 \pm 0,02$. Эти значения Q_0 и ϵ_2 согласуются с расчетным значением $\epsilon_2 = 0,23^{/28/}$.

Значения разностей гиромагнитных отношений $|g_K - g_R|$, вытекающие из величин $B(M1)$ внутривращательных переходов $59,3 \text{ кэВ}$ в ^{159}Er и $59,5 \text{ кэВ}$ в ^{161}Er , в предположении о величине $g_R = 0,3$, позволили оценить значения магнитных моментов состояний $3/2^- / 521/$ в этих ядрах: $\mu \leq -0,12 \text{ я.м.}$ для ^{159}Er и $\mu \leq -0,21 \text{ я.м.}$ для ^{161}Er . Полученные значения не противоречат систематике $^{/29/}$ магнитных моментов таких состояний в нечетно-нейтральных ядрах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Громов К.Я. и др. ОИЯИ, Р6-3954, Дубна, 1968.
2. De Boer F.W.H. CERN 70-30, 1970, v.2, p.939.
3. Баланда А. и др. ОИЯИ, Р6-5761, Дубна, 1971.
4. Basnat M. et al. JINR, E6-8303, Dubna, 1974.
5. Aguer P. et al. C.P. Acad. Se. Paris., 1975, t.28, Serie B, p.509.
6. Leigh J.R. et al. URKL 20426, 1971.
7. Grosse E., Stephens F.S., Diamond R.M. Phys. Rev.Lett., 1973, 31, p.840.
8. Veusher H. et al. Nucl.Phys., 1975, A249, p.379.
9. Абдумаликов А.А., Абдуразаков А.А., Громов К.Я. Изв. АН СССР, сер. физ., 1964, 28, с.257.
10. Абдумаликов А.А. и др. ОИЯИ, 6-4393, Дубна, 1969.
11. Адам И. и др. ОИЯИ, 6-8558, Дубна, 1975;
12. Borggreen J., Sletten G. Nucl.Phys., 1970, A143, p.255.
13. Hagemann K.A. et al. Phys. Lett., 1969, 288, p.661.
14. Tjom P.O., Elbek B. Mat. Fys. Medd. Dan. Vid. Selsk., 1969, 37, No. 7.
15. Hjorth S.A. et al. Nucl.Phys., 1970, A144, p.513.
16. Andrejtcheff W. et al. Nucl.Phys., 1974, A220, p.438.
17. Ваврыщук Я. и др. ОИЯИ, Д6-8846, Дубна, 1975, с.125.
18. Музиоль Г., Райко В.И., Тыррофф Х. ОИЯИ, Р6-4487, Дубна, 1969.
19. Молнар Ф., Халкин В., Херрманн Э. ЭЧАЯ, 1973, т.4, вып. 4, с.1077.
20. Афанасьев В.П. и др. ОИЯИ, 13-4763, Дубна, 1969.
21. Аликов Б.А. и др. ОИЯИ, Р13-10911, Дубна, 1977.

22. Кузнецов В.В. и др. Тезисы докл. XXVIII совещ. по ядрам, спектрам и структуре атомного ядра. "Наука", Л, 1978, с.508.
23. Аликов Б.А. и др. ЭЧАЯ, 1976, т.7, вып. 2, с.419.
24. Lobner K.E.G. In: The Electromagnetic Interaction in Nuclear Spectroscopy. Ed. W.D.Hamilton, North-Holland, Amsterdam, 1975.
25. Gustafson C. et al. Ark. Fys., 1967, 36, p.613.
26. Andrejtcheff W., Schilling K.D., Manfrass P. Atomic Data and Nucl. Data Tables, 1975, 16, p.515.
27. Hager R.S., Seltzer E.C. Nucl. Data, 1968, A4, p.1.
28. Ekstrom C., Lamm I.-L. Phys. Scripta, 1973, 7, p.31.
29. Авоина М.П., Золотавин А.В. Моменты основных и возбужденных состояний ядер /материалы по математическому обеспечению/. ЛИЯФ, АН СССР, Л., 1976.

Рукопись поступила в издательский отдел
31 января 1979 года.