

5201

ЭКЗ. ЧИТ. 3

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P6-5201



В.А. Морозов, Т.М. Муминов , А.Б. Халикулов

ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕН ЖИЗНИ УРОВНЕЙ
 2^+ И 4^+ ОСНОВНОЙ РОТАЦИОННОЙ ПОЛОСЫ
В ЧЕТНО-ЧЕТНЫХ ЯДРАХ Os, Er И Dy

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1970

P6-5201

В.А. Морозов, Т.М. Муминов*, А.Б. Халикулов*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕН ЖИЗНИ УРОВНЕЙ
 2^+ И 4^+ ОСНОВНОЙ РОТАЦИОННОЙ ПОЛОСЫ
В ЧЕТНО-ЧЕТНЫХ ЯДРАХ Os, Er И Dy

* Самаркандский государственный университет

**Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ**

Исследования времен жизни уровней ротационной полосы в четно-четных ядрах вызывают значительный интерес в связи с тем, что такие исследования позволяют провести проверку ряда модельных представлений о строении ядра.

Экспериментальные значения периодов полураспада $T_{1/2}$ эксп. уровней ротационной полосы основного состояния позволяют определить приведенные вероятности переходов $B(E2)$, внутренние электрические квадрупольные моменты Q_0 , параметры деформации ядер β и т.д.

Схемы возбужденных состояний исследуемых четно-четных ядер относительно хорошо изучены /1/.

Времена жизни первых возбужденных состояний 2^+ и 4^+ рассматриваемых ядер, за исключением ^{184}Os , были определены различными методами /2-29/. В ряде случаев результаты различных работ существенно различаются между собой. Большинство измерений проведено методом задержанных совпадений с использованием сцинтилляционных спектрометров, которые не позволяют провести четкое выделение каскадных излучений, и, поэтому на результаты таких измерений могли повлиять времена жизни других состояний. Поэтому было целесообразно повторить эти измерения методом $e-\gamma$ - задержанных совпадений. Использование магнитного β -спектрометра с хорошим энергетическим разрешением существенно повышает надежность результатов.

1. Аппаратура

Измерения проводились на установке для измерений времен жизни возбужденных состояний ядер /30/, собранной на базе магнитно-линзового

β -спектрометра /31/. Времена жизни уровней 4^+ измерялись с применением системы контроля аппаратурных нестабильностей /30/. Собственное временное разрешение установки на источнике ^{60}Co для разных измерений составляло $2\tau_0 = 0,6-1,2$ нсек. Измерения проводились при энергетическом разрешении β -спектрометра $R \approx 2\%$.

2. Обработка экспериментальных результатов

Экспериментальные результаты измерений времен жизни уровней обрабатывались по методу наименьших квадратов на ЭВМ БЭСМ-4 и БЭСМ-6. Погрешности определения экспериментальных результатов включают в себя, помимо статистической ошибки, ошибку абсолютной калибровки цены канала временного анализатора.

3. Получение радиоактивных источников

Радиоактивные источники для исследования времен жизни уровней в ядрах Dy и Er были получены в результате реакций глубокого расщепления тантала при облучении его протонами с энергией $E_p = 660$ Мэв на синхроциклотроне ОИЯИ. Время облучения для разных измерений составляло 0,5-4 часа.

Выделение радиоактивных препаратов из облученных мишеней производилось методом хроматографического разделения /32/.

Измерение времени жизни уровня 4^+ в ядре ^{184}Os проводилось с источниками радиоактивных изотопов иридия, полученных при облучении золота в течение четырех часов протонами с энергией $E_p = 660$ Мэв на синхроциклотроне ОИЯИ и выделенных радиохимическим методом /33/.

4. Условия измерений

Условия измерений времен жизни первых возбужденных состояний 2^+ и 4^+ в исследуемых ядрах приведены в таблице 1.

Таблица 1

Условия измерений времен жизни уровней 2^+ и 4^+ основной ротационной полосы в четно-четных ядрах Dy , Er и Os

Ядро	Еур кэВ. $I \pi$	Радио- актив- ный пре- парат источника	Время T от конца облу- чения до на- чала измере- ний	Совпадения, в которых определяется $T_{1/2}$ уровня
^{156}Dy	138 2^+	Ho	1,5 часа	(L-138) ($E_f = 300 \pm 900$ кэВ)
^{158}Dy	99 2^+	Er	5 часов	(L-99) ($E_f = 300 \pm 950$ кэВ)
^{160}Dy	87 2^+	Er	4 часа	(L-87) ($E_f = 300 \pm 800$ кэВ)
^{160}Dy	284 4^+	Er.	20 часов	(K-197) ($E_f = 600 \pm 900$ кэВ)
^{162}Er	102 2^+	Ув	1 час	(L-102) ($E_f = 400 \pm 900$ кэВ)
^{164}Er	91 2^+	Ув	1 час	(L-91) ($E_f = 400 \pm 900$ кэВ)
^{166}Er	81 2^+	Ув	30 часов	(L-81) ($E_f = 400 \pm 900$ кэВ)
^{166}Er	265 4^+	Ув	30 часов	(L-184) ($E_f = 600 \pm 900$ кэВ)
^{184}Os	384 4^+	Ir	3 часа	(K-264) ($E_f = 650 \pm 900$ кэВ)

Значение периодов полураспада исследуемых уровней представлены в таблице 2.

5. Обсуждение экспериментальных результатов

В таблице 2 представлены значения величин $B(E2)$, Q_0 и β , определенных по экспериментальным временам жизни первых возбужденных состояний 2^+ и 4^+ четно-четных ядер Dy с $A = 156, 158, 160, 162$, Er с $A = 162, 166, 168$ и Os с $A = 184, 186, 188, 190, 192$. Там же приведены теоретические значения некоторых из этих величин.

Таблица 2

Периоды полураспада первых возбужденных состояний 2^+ и 4^+ , приведенные вероятности переходов, внутренние квадрупольные моменты, параметры деформации для четно-четных ядер Dy, Er и Os

	I56	I58	I60	I62
	60 Dy 90	66 Dy 92	66 Dy 94	66 Dy 96
1. $E_{\gamma}(2^+)$ кэВ /I/	138	99	86,8	80,7
2. $E_{\gamma}(4^+)$ кэВ /I/	404,4	371,1	283,8	265,9
3. $E_{\gamma}(4^+ \rightarrow 2^+)$ /I/	266,4	218,1	197	185,2
4. α полн. ($2^+ \rightarrow 0^+$) /4/, /42/	0,86	2,80	4,65	6,27
5. α полн. ($4^+ \rightarrow 2^+$) /41,42/	0,09	0,19	0,26	0,32
6. $T_{1/2}(2^+)$ эксп., 10^{-9} сек.	0,90 \pm 0,08	1,63 $^+$ -0,08	1,76 \pm 0,08	2,25 \pm 0,07 ^{a)}
7. $T_{1/2}(4^+)$ эксп., 10^{-11} сек.	-	7,48 \pm 0,83 ^{b)}	9,5 \pm 1,0	13,2 \pm 0,8 ^{a)}
8. F уск.	134 \pm 12	187 \pm 9	229 \pm 12	190 \pm 7
9. $B(E2; 2^+ \rightarrow 0^+)$ эксп., 10^{-48} см ⁴	0,673 \pm 0,060	0,957 \pm 0,047	1,191 \pm 0,054	1,005 \pm \pm 0,032
10. $B(E2; 4^+ \rightarrow 2^+)$ эксп., 10^{-48} см ⁴	-	1,27 \pm 0,13	1,59 \pm 0,17	1,48 \pm 0,10
11. $B(E2; 4^+ \rightarrow 2^+)/B(E2; 2^+ \rightarrow 0^+)$	-	1,33 \pm 0,21	1,33 \pm 0,22	1,47 \pm 0,15
12. μ	0,38	0,27	0,21	0,20
13. γ , град.	13,6	12,1	11,5	11,7
14. $Q_{\text{эксп.}} 10^{-24}$ см ²	5,81 \pm 0,25	6,94 \pm 0,10	7,75 \pm 0,19	7,11 \pm 0,12
15. $Q_{\text{сд}} 10^{-24}$ см ² *	5,81	5,73	5,72	5,72
16. $Q_{\text{сд}} \text{KB}/35/ 10^{-24}$ см ²	-	-	-	-
17. $Q_{\text{сд}} \text{Г}/36/ 10^{-24}$ см ²	4,7	5,3	5,6	6,2
18. β эксп.	0,268 \pm 0,008	0,315 \pm 0,006	0,348 \pm 0,006	0,318 \pm 0,004

Продолжение таблицы 2

	I62	I64	I66	I68
	E_{γ} 68 94	E_{γ} 68 96	E_{γ} 68 98	E_{γ} 68 100
1.	102	91,5	80,6	79,8
2.	338	299	264,9	264,3
3.	236	208	184,4	184,5
4.	2,84	4,37	6,94	7,33
5.	0,16	0,23	0,33	0,33
6.	1,17 \pm 0,10	1,48 \pm 0,08	1,99 \pm 0,09	1,90 \pm 0,06 ^{a)}
7.	-	8,59 \pm 0,83 ^{b)}	11,1 \pm 1,0	12,1 \pm 0,8 ^{a)}
8.	214 \pm 21	205 \pm 18	192 \pm 10	186 \pm 8
9.	1,133 \pm 0,097	1,104 \pm 0,060	1,048 \pm 0,048	1,037 \pm 0,034
10.	-	1,36 \pm 0,13	1,79 \pm 0,15	1,64 \pm 0,11
11.	-	1,23 \pm 0,20	1,70 \pm 0,24	1,58 \pm 0,18
12.	0,25	0,18	0,16	0,10
13.	13,4	12,8	12,6	12,3
14.	7,58 \pm 0,30	7,45 \pm 0,27	7,27 \pm 0,15	7,23 \pm 0,11
15.	5,72	5,72	5,72	5,74
16.	-	-	-	-
17.	6,0	6,3	7,0	7,5
18.	0,328 \pm 0,009	0,320 \pm 0,006	0,310 \pm 0,005	0,306 \pm 0,003

Продолжение таблицы 2

	I84		I86		I88		I90		I92	
	0 _S 76	I08	0 _S 76	II0	0 _S 76	II2	0 _S 76	II4	0 _S 76	II6
I.	119,8		137,2		155,0		186,7		105,7	
2.	384		434		478		548		5580	
3.	264		296,8		323,5		361		374,6	
4.	2, I4		1,26		0,80		0,42		0,26	
5.	0, I4		0,09		0,07		0,05		0,04	
6.	1,18±0,05 ^{д)}		0,84±0,05 ^{д)}		0,71±0,03 ^{д)}		0,33±0,02 ^{д)}		0,275±0,018 ^{д)}	
7.	4,6±I,3		2,24 ^{г)}		1,90 ^{г)}		1,7 ^{г)}		1,4 ^{г)}	
8.	102±5		95±5		76±3		83±6		66±4	
9.	0,615±0,030		0,610±0,40		0,493±0,020		0,529±0,035		0,441±0,030	
10.	0,840±0,240		0,995±0,150		0,789±0,118		0,645±0,096		0,528±0,028	
11.	1,37±0,45		1,63±0,40		1,60±0,35		1,25±0,30		1,20±0,30	
12.	0,28		0,26		0,26		0,26		0,16	
13.	13,5		16,5		19,0		21,8		25,2	
14.	5,56±0,10		5,54±0,15		4,96±0,08		5,15±0,15		4,71±0,15	
15.	5,74		5,73		5,73		5,72		5,70	
16.	+		5,45		5,23		5,11		5,09	
17.	5,6		5,6		5,3		5,3		-	
18.	0,201±0,002		0,200±0,003		0,176±0,002		0,182±0,003		0,167±0,003	

а) Значения $T_{1/2}$ взяты из /8/.

б) Значения $T_{1/2}$ взяты из /37/.

в) Значения $T_{1/2}$ взяты из /38/.

г) Значения $T_{1/2}$ определены по величине $B(E2)$ из /39/.

д) Значения $T_{1/2}$ определены в /40/.

* Относительные значения Q_{α} нормированы по экспериментальному значению Q_{α} эксп. ¹⁵⁶ Ду.

По временам жизни уровней 2^+ и 4^+ ротационной полосы основного состояния можно проверить, как выполняются соотношения между приведенными вероятностями переходов $4^+ \rightarrow 2^+$ и $2^+ \rightarrow 0^+$,

$$\frac{B(E2; I_1+2 \rightarrow I_1)}{B(E2; I_1 \rightarrow I_1)} = \frac{[c_{I_1+2; k; L, k-k}^{I_1 k}]^2}{[(I_1 k; L, k-k)]^2}, \quad (1)$$

где в квадратных скобках стоят коэффициенты Клебша-Гордана, $I_1=2, I_1=0, K=0$.

Сравнение экспериментальных и теоретических отношений приведенных вероятностей переходов между уровнями одной ротационной полосы может дать ценную информацию о структуре ядра. Так, например, в обобщенной модели допускается, что в состояниях $2^+, 4^+$ и т.д. основной ротационной полосы к волновой функции, имеющей $K=0$, присоединяется волновая функция с $K=2$ (примесь от γ -вибрационной полосы). Такое смешивание должно привести к небольшим изменениям значений приведенных вероятностей E2-переходов. В переходах $4^+ \rightarrow 2^+, 6^+ \rightarrow 4^+$ и т.д. не запрещены компоненты M3 и E4, которые также могут повлиять на величину $B(E2)$.

Однако следует отметить, что в настоящее время точность измерения времен жизни возбужденных состояний ядер не позволяет обнаружить эти отклонения. Отношения $B(E2; 4^+ \rightarrow 2^+)/B(E2; 2^+ \rightarrow 0^+)$ в пределах экспериментальных ошибок совпадают со значением 1,43, вытекающим из равенства (1).

Вероятности переходов между уровнями ротационной полосы в рассматриваемых ядрах ускорены по отношению к одночастичным оценкам на величину порядка $\approx 10^2$, что свидетельствует о коллективной природе этих состояний. В соответствии с оболочечной моделью ядра значения факторов ускорения уменьшаются на краях области деформации $150 < A < 190$ (см. рис. 1).

Значения квадрупольных моментов рассматриваемых ядер, определенных из значений $T_{1/2}(2^+)$ эксп. и $T_{1/2}(4^+)$ эксп., в пределах экспериментальных ошибок совпадают друг с другом.

Интересно сравнить экспериментальные значения внутренних квадрупольных моментов (или параметров деформации) рассматриваемых ядер с соответствующими теоретическими значениями. Относительные значения

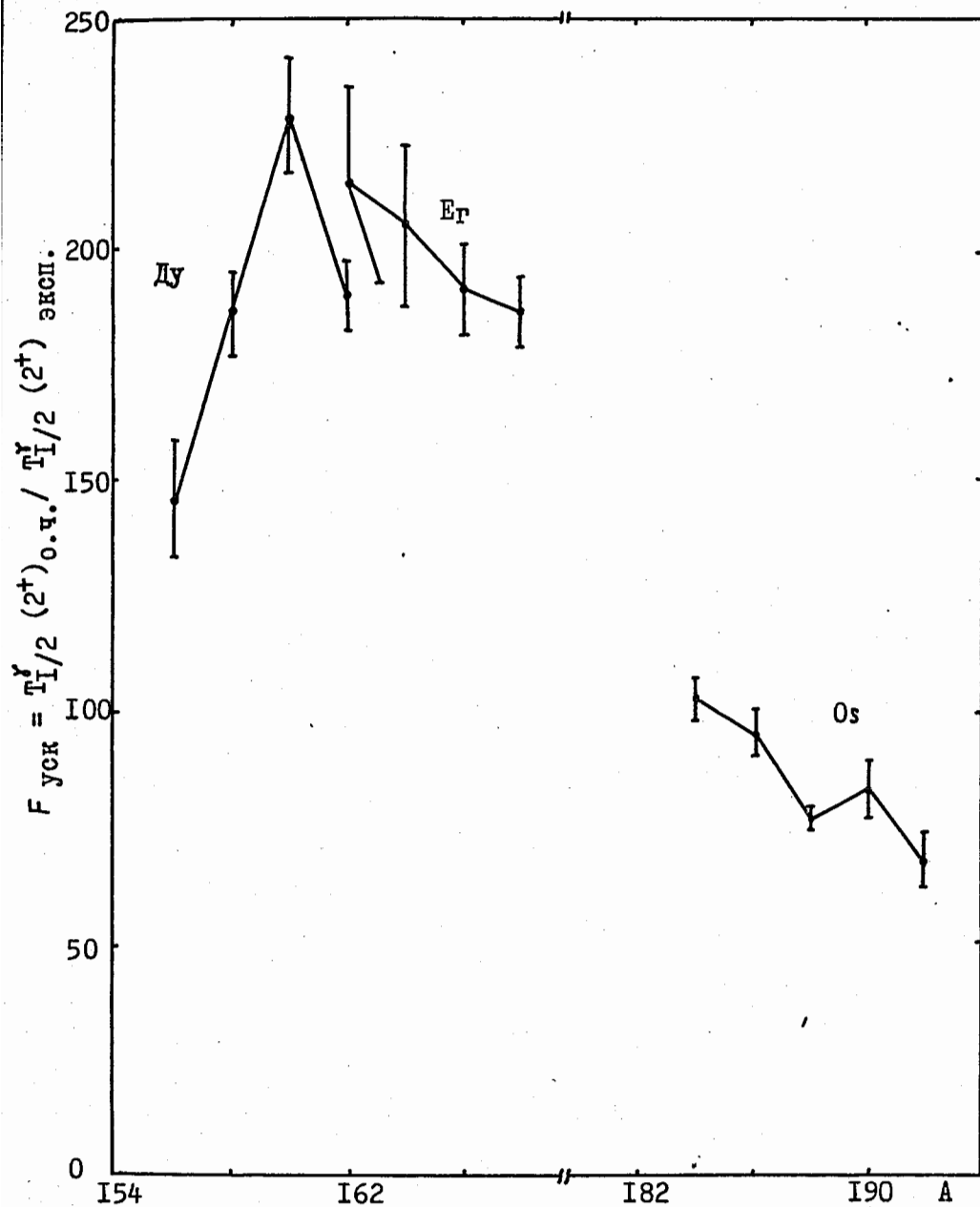
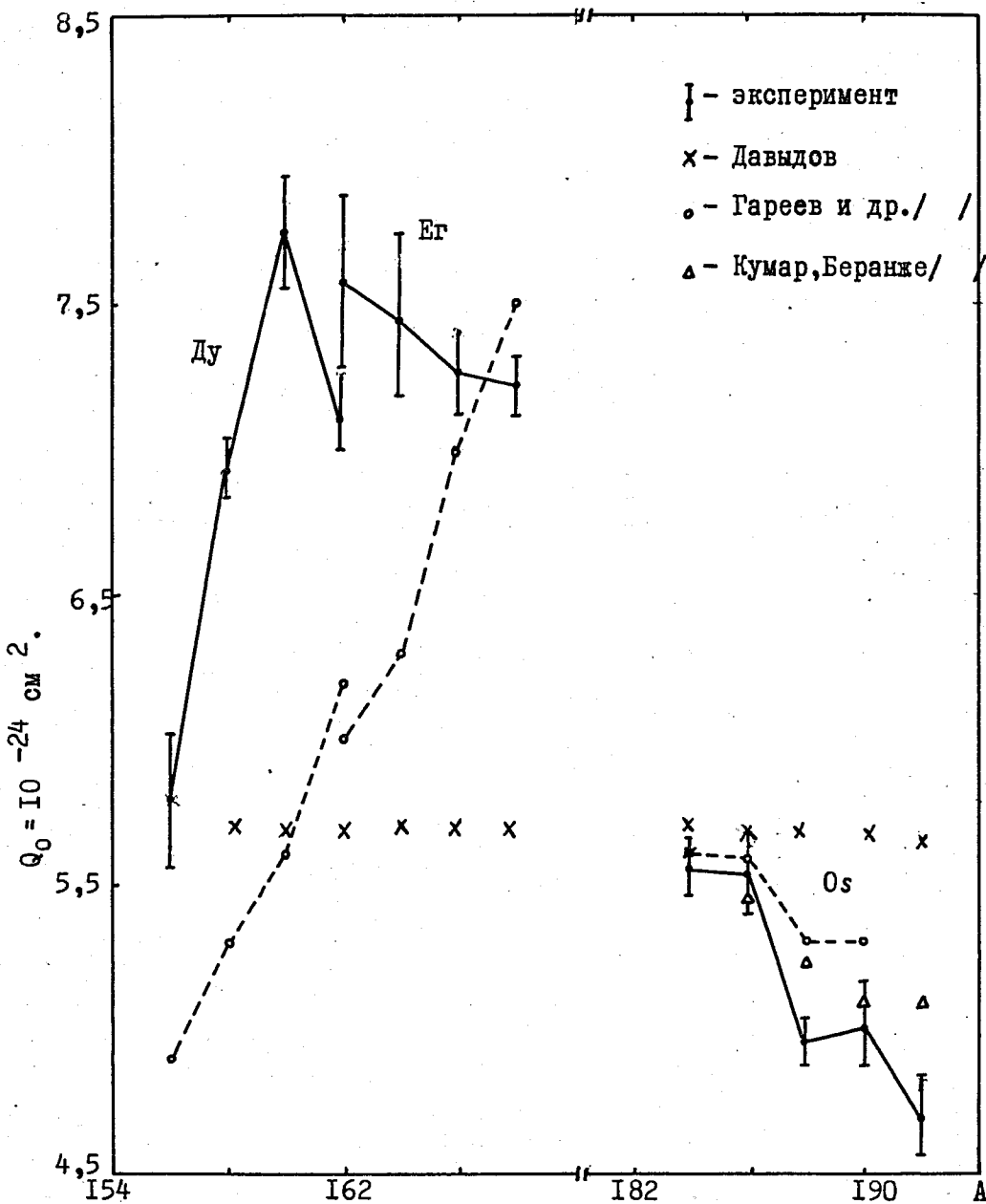


Рис. 1. Изменения факторов ускорения E2 переходов $2^+ \rightarrow 0^+$ в четно-четных ядрах Dy, Er и Os в зависимости от A.

квадрупольных моментов, вычисленных на основе неадиабатического варианта теории неаксиальных ядер Давыдова, недостаточно хорошо описывают ход изменения экспериментальных значений квадрупольных моментов в зависимости от массового числа A исследуемых ядер. Теоретические значения Q_{0D} определялись по параметрам неаксиальности γ и неадиабатичности μ в теории Давыдова /34/. Значения параметров γ и μ определялись по экспериментальным значениям энергий возбужденных состояний 2^+ и 4^+ ротационной полосы основного состояния и гамма-вибрационного уровня с характеристиками $I\pi K = 2^+ 2$.

В работе Кумара и Беранже /35/ на основе нелинейной адиабатической теории, учитывающей парные плюс квадрупольные остаточные взаимодействия, вычислены значения приведенных вероятностей переходов с уровней 2^+ и 4^+ основной ротационной полосы для четно-четных ядер Os. Изотопы Os лежат в переходной области, где можно ожидать изменения ядерных свойств при переходе от сильнодеформированных к сферическим ядрам. Как видно из рассмотрения таблицы 2 и рис. 1,2, для изотопов осмия характерно скачкообразное изменение факторов ускорения $F(E2)_{\text{уск}}$ и квадрупольных моментов Q_0 эксп. в зависимости от числа нейтронов в ядре. Эти отклонения выходят за пределы экспериментальных ошибок. Наблюдаемые отклонения можно пытаться объяснить немонотонным характером изменения параметров, используемых в теории, от A в отличие от плавного, как это принималось, а также отклонениями от адиабатического приближения. Кроме того, расчет минимальной энергии деформации для изотопов осмия показал /35/, что при переходе от $A = 186-188$ к $A = 190-192$ вид кривой потенциальной энергии деформации меняется от симметричной к асимметричной. Возможно, этот переход является причиной скачкообразного изменения стабильной формы ядра.

Характер изменения экспериментальных значений квадрупольных моментов четно-четных ядер осмия в зависимости от массового числа A довольно хорошо описывается значениями квадрупольных моментов, вычисленными с использованием схем уравнений потенциала Саксона-Вудса в работе Гареева и др. /36/. Для ядер Er и Dy характер изменения теоретических значений квадрупольных моментов /36/ не соответствует эк-



14. K.M.M.S. Ayyangar, V. Lakshminarayana. Swami Inanananda. *Indian. J.Phys.*, 40, N7, 432 (1966).
15. H.N. Brown, R.A. Becker. *Phys.Rev.*, 96 (1372) (1954).
16. B. Sethi, S.K. Mukherjee. *Phys.Rev.*, 166, 1227 (1968).
17. F.K. McGowan. *Phys.Rev.*, 80, 923 (1950).
18. M. Birk, G. Goldring, Y. Wolfson. *Phys.Rev.*, 116, 730 (1959).
19. Э.Е. Берлович, В.В. Ильин, М.К. Никитин, Т. Бэдикэ. Изв. АН СССР, сер. физ., 24, 1492 (1960).
20. E. Bashandy, M.S.El-Nesr. *Ark.Fys.*, 22, 341 (1962).
21. K.K. McGowan. *Phys.Rev.*, 81, 1066 (1951).
22. Э.Е. Берлович. ЖЭТФ 33, 1522 (1957).
23. F.E. Durham, D.H. Rester, C.M. Class. *BAPS*, 4, 98 (1959).
24. E. Bodenstedt, H.-J. Rörner, G. Strube, C. Günther, J. Radeloff, E. Gerdau. *Z.Phys.*, 163, 1 (1961).
25. E. Bashandy, El-Nesr. *Nucl.Phys.*, 34m 483 (1962).
26. F.K. McGowan, P.H. Stelson. *Phys.Rev.*, 109, 901 (1958).
Phys.Rev., 122, 1274 (1961).
27. R. Barloutaud, P. Lehmann, A. Leveque *Compt.rend.* 245, 653 (1955).
28. J. Burde, M. Rakavy. *Nucl.Phys.*, 28, 172 (1961).
29. J. Burde, M. Rakavy. *Nucl. Phys.*, 28, 172 (1961).
30. В.А. Морозов, Т.М. Муминов. Препринт ОИЯИ, 13-4625, Дубна, 1969.
31. В.А. Морозов, Т.М. Муминов. Препринт ОИЯИ, P13-3437, Дубна, 1967.
32. Н.А. Лебедев, Н.С. Толстой, В.А. Халкин. *Радиохимия VII*, 115, 1965.
33. И. Дема, Н.Г. Зайцева, Ким Хон Сил, В.П. Новиков. Тезисы докладов 15-го всесоюзного совещания по ядерной спектроскопии, 73, изд. "Наука", М-Л, 1965.
34. А.С. Давыдов. "Возбужденные состояния атомных ядер". Атомиздат, М., 1962.
35. K. Kumar, M. Baranger. *Nucl.Phys.*, A122, 241 (1968).

36. F.A. Gareev, S.P. Ivanova, V.V. Pashkewitch. Preprint JINR, E4-4704, Dubna, 1969.
37. Б.С. Джелепов, Сб. "Структура сложных ядер", 184, Атомиздат, М., 1966.
38. Ben-Zvi, A.E. Blaugrund, Y. Dar, G. Coldring, J. Hess, M.W. Sachs, E.Z. Skurnik, Y. Wolfson. *Nucl.Phys.*, A117, 625 (1968).
39. R.F. Casten, J.S. Greenberg, G.A. Burginyon, D.A. Bromley, *Contr. to the Tokyo Conf. on Nucl.Str.* (1969).
40. Т. Бэдикэ, Н.Г. Зайцева, В.А. Морозов, Т.М. Муминов, С. Сэледжану. Препринт ОИЯИ, 6-4350, Дубна, 1969.
41. R.S. Hager, E.C. Seltzer. *Nucl. Data*, A4, 1,2 (1968).
42. O. Dragoun, H.C. Pauli, F. Schmutzler. *Nucl.Data*, A6, 3 (1969).

Рукопись поступила в издательский отдел
23 июня 1970 года.