

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



18/iv-77

P4 - 10295

П-147

1415/2-77

В.В.Пальчик, М.И.Базнат, Н.И.Пятов

E2-ПЕРЕХОДЫ С $\Delta K = 1$

В НЕЧЕТНЫХ ДЕФОРМИРОВАННЫХ ЯДРАХ

1977

P4 - 10295

В.В.Пальчик,* М.И.Базнат,* Н.И.Пятов

Е2-ПЕРЕХОДЫ С $\Delta K = 1$
В НЕЧЕТНЫХ ДЕФОРМИРОВАННЫХ ЯДРАХ

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

* Институт прикладной физики АН МССР, Кишинев

Пальчик В.В., Базнат М.И., Пятов Н.И.

P4 - 10295

E2 -переходы с $\Delta K=1$ в нечетных деформированных ядрах

Вычислены вероятности E2-переходов с $\Delta K=1$ в нечетных ядрах с учетом кориолисова смешивания состояний и эффективного заряда квазичастиц. Результаты расчетов сравниваются с экспериментальными данными.

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

Palchik V.V., Baznat M.I.,
Pyatov N.I.

P4 - 10295

E2 Transitions with $\Delta K=1$ in Odd-Mass Deformed
Nuclei

The interband E2 transitions with $\Delta K=1$ have been calculated in the framework of the intermediate coupling rotational model. The quasiparticle effective charges were calculated in the microscopic approach. The results obtained are compared with experimental data.

The investigation has been performed at the Laboratory of Theoretical Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 1977

© 1977 Объединенный институт ядерных исследований Дубна

Введение

Из экспериментальных данных следует, что в нечетных деформированных ядрах приведенные вероятности $E2$ -переходов между уровнями ротационных полос, различающихся на единицу по проекции углового момента ($\Delta K=1$), оказываются $\sim 10^{-2} - 10^{-3} e^2 \text{барн}^2$. Эти переходы значительно ускорены по сравнению с одночастичными оценками^{/1/}, что свидетельствует о преобладании коллективных эффектов, связанных с вращением ядра как целого и колебаниями ядерной поверхности.

Ввиду неинерциальности вращательного движения в ядрах имеет место кориолисово взаимодействие одночастичного движения с вращением^{/2/}, смешивающее ротационные полосы. В нижайшем порядке теории возмущений это взаимодействие было учтено в работе^{/3/}. Кроме коллективных эффектов, ускорение переходов может быть обусловлено эффективными зарядами квазичастиц, увеличивающими вклад одночастичной части в приведенную вероятность $E2$ -переходов.

Учет взаимодействия Кориолиса и эффективных зарядов дает возможность выполнить точный расчет значений $B(E2, \Delta K=1)$, что требуется для более детального сравнения теоретических предсказаний с экспериментом.

В данной работе в рамках роторной модели с промежуточной связью учитываются неадиабатические эффекты взаимодействия Кориолиса путем прямой диагонализации гамильтониана системы. Подробности используемого метода даны в^{/4,5/}.

В нашей работе с помощью метода, изложенного в /6/, производится систематический расчет $B(E2, \Delta K=1)$ для ряда нечетных ядер, в которых имеются экспериментальные данные, по формуле

$$B(E2, I \rightarrow I') = \left| \sum_{k, k', \rho, \rho'} C_{k\rho}^I C_{k'\rho'}^{I'} \left[\langle IK20 | I'K' \rangle \sqrt{\frac{5}{16\pi}} e Q_0 \delta_{k, k'} \delta_{\rho, \rho'} + e(K, K') \langle IK2K'-K | I'K' \rangle \langle K' | \mathcal{M}(E2, K'-K) | K \rangle \delta_{k, k' \pm 1} \right] \right|^2,$$

где I и I' - спины начального и конечного состояний, соответственно, ρ - набор квантовых чисел $^{\pi}[N n_z \Lambda]$, $C_{k\rho}^I$ - амплитуды кориолисова смешивания состояний, Q_0 - внутренний квадрупольный момент четно-четного остова /параметр/, e - заряд протона, $e(K, K')$ - эффективный одночастичный заряд, в общем случае зависящий от конфигураций состояний, $\langle K' | \mathcal{M}(E2) | K \rangle$ - одночастичные матричные элементы $E2$ -перехода.

РАСЧЕТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Одночастичный базис вычислялся в ядрах $^{153, 155}Eu$, $^{155, 157}Tb$, ^{161}Dy , ^{175}Lu , ^{181}Ta , ^{233}U в деформированном потенциале Саксона-Вудса /10/ с параметрами деформации $\beta_{20} = 0,30$ и $\beta_{40} = 0,04$ для ядер редкоземельной области; $\beta_{40} = 0,08$ и $\beta_{20} = 0,23$ для урана.

При расчетах учитывались одночастичные уровни оболочек $N=3 \div 8$ в интервале энергий от -35 до $+10$ МэВ. Общее число двухквaziчастичных состояний с $\Delta K = 1 - 900$, а их энергии меняются от $1,8$ до 43 МэВ.

1. Считая эффективный момент инерции J и энергетическую щель Δ параметрами, производим диагонализацию кориолисова взаимодействия в ограниченном пространстве одночастичных состояний тождественных нуклонов с одинаковой четностью. При этом параметры J и Δ подбирались из согласия расчетов с экспериментальными данными об энергиях вращательных состояний.

Таблица 1

Энергетические спектры /энергия в кэВ/

¹⁵² Eu		¹⁵² Eu		¹⁵⁵ Tb		¹⁵⁷ Tb		¹⁶⁴ Dy		¹⁷⁵ Lu		¹⁸¹ Ta		²³² U		
а)	б) /и/	а)	б) /и/	а)	б) /и/	а)	б) /и/	а)	б) /и/	а)	б) /и/	а)	б) /и/	а)	б) /и/	
I	$\frac{3}{2}^+ [413]$	$\frac{3}{2}^+ [413]$	$\frac{3}{2}^+ [413]$	$\frac{3}{2}^+ [413]$	$\frac{3}{2}^+ [413]$	$\frac{3}{2}^+ [523]$	$\frac{3}{2}^+ [404]$	$\frac{3}{2}^+ [404]$	$\frac{3}{2}^+ [633]$							
5/2	(0)	0	(0)	0	(271)	271	(328)	328	(26)	26	-	-	-	(0)	0	
7/2	84	83	86	79	364	335	415	408	105	103	(0)	0	(0)	0	44	40
9/2	193	193	176		485	453	528	514	205	201	123	114	124	136	99	92
11/2	326	325	332		632	596	665	644	327	321	280	251	275	301	168	157
13/2	482	481	491		806	767	826		469	457	412	454	495	249	234	
I	$\frac{3}{2}^+ [411]$	$\frac{3}{2}^+ [411]$	$\frac{3}{2}^+ [411]$	$\frac{3}{2}^+ [411]$	$\frac{3}{2}^+ [411]$	$\frac{3}{2}^+ [521]$	$\frac{3}{2}^+ [402]$	$\frac{3}{2}^+ [402]$	$\frac{3}{2}^+ [631]$							
3/2	(103)	103	(246)	246	(0)	0	(0)	0	(75)	75	-	-	-	-	(312)	312
5/2	164	173	309	307	66	65	62	61	130	132	(343)	343	(482)	482	341	341
7/2	250	270	396	391	158	156	148	144	208	213	440	433	579	-	392	-
9/2	361		508	502	277	274	259	252	307	315	564	547	654	-	436	-
11/2	497		644		422	409	394	377	434		761	684	807	-	501	-

а/ расчет,
б/ эксперимент.

Примечание: отсчеты энергий производятся от экспериментальных значений основных состояний каждой из ротационных полос. Параметры J и Δ в каждом ядре одинаковы для всех ротационных полос.

Низколежащие ротационные спектры приведены в табл. 1, откуда видно, что рассчитанная энергетика каждой ротационной полосы хорошо согласуется с экспериментальными данными.

2. Для расчета приведенной вероятности E2-перехода с $\Delta K=1$ между ротационными полосами в нечетных деформированных ядрах были вычислены одночастичные матричные элементы $\langle K' | M(E2) | K \rangle$, эффективные заряды $e(K, K')$ и амплитуды C_{kr}^I кориолисова смешивания, получаемые из расчета вращательных спектров.

Коллективное слагаемое вносит основной вклад в приведенную вероятность перехода, поэтому величина $V(E2)$ сильно зависит от значений коэффициентов C_{kr}^I и от параметра Q_0 /в меньшей степени/. Результаты расчетов приведены в табл. 2-6.

Ниже проведем их обсуждение.

Таблица 2

E2 - переходы с ротационной полосы $3/2^- [521]$ на
полосу $5/2^- [523]$ в ядре ^{161}Dy

$3/2^- [521]$	$5/2^- [523]$	экспер./I2/	Р а с ч е т а)		эксперимент
I	I'	E_{γ} , кэВ	$F_w \times 10^{-6}$ б)	$F_w \times 10^2$ в)	$F_w \times 10^2$
3/2	5/2	49	5	31	$9,1^{+3,4}_{-4,6}$
5/2	5/2	106	5	32	
5/2	7/2	29	100	620	
7/2	5/2	187	30	690	
7/2	7/2	110	9	450	

- а/ расчет с параметрами $\Delta_N = 0,9 \text{ МэВ}$, $1/2J = 12 \text{ кэВ}$,
 $Q_0 = 8 \text{ барн}$,
б/ адиабатические оценки,
в/ расчет с учетом кориолисова взаимодействия.

Таблица 3

E2 - переходы между ротационными полосами $5/2^+ [402]$
и $7/2^+ [404]$ в ядре ^{181}Ta

$5/2^+ [402]$	$7/2^+ [404]$	экспер./I4/	Р а с ч е т а)		Экспер./I/
I	I'	E_{γ} , кэВ	$F_w \times 10^{-6}$ б)	F_w в)	F_w
5/2	7/2	482	1	34	$37_{\pm 8}$
5/2	9/2	346	1,5	43	$42_{\pm 8}$
7/2	7/2		1,5	46	
7/2	9/2		7	220	
7/2	11/2		1	37	

- а/ расчеты с параметрами $\Delta_z = 0,7 \text{ МэВ}$, $1/2J = 14 \text{ кэВ}$,
б/ адиабатические расчеты,
в/ расчеты с учетом кориолисова взаимодействия.

Таблица 4

E2 - переходы между уровнями ротационных полос $3/2^+[631]$ и $5/2^+[633]$ в ядре ^{233}U

$3/2^+[631]$	$5/2^+[633]$	Экспер./15/	Расчет а)			Экспер./1/
			E_{γ} кэВ	$F_w \cdot 10^{-7}$ б)	F_w в)	
I	I'					
3/2	5/2	312	1,5	24		
3/2	7/2	272	1	15	10,9 \pm 3,0	
5/2	5/2	341	1,5	24		
5/2	7/2	301	40	560		

а/ расчет с параметрами $\Delta_N = 0,6 \text{ МэВ}, 1/2J = 7 \text{ кэВ}, Q_0 = 10 \text{ барн},$

б/ адиабатические оценки,

в/ расчет с учетом кориолисова взаимодействия.

Таблица 5

E2 - переходы между уровнями ротационных полос $3/2^+[411]$ и $5/2^+[413]$ в ядрах ^{153}Eu и ^{155}Eu

Ядро	$3/2^+[411]$	$5/2^+[413]$	Экспер./10,11/	Расчет а)			Эксперимент	
				E_{γ} кэВ	$F_w \cdot 10^{-4}$ б)	F_w в)	F_w 11/	F_w 11/
^{153}Eu	3/2	5/2	103	10	2,5	0,6 \pm 0,3	6	
	3/2	7/2	20	8	2			
	5/2	5/2	173	10	2,5	2,0 \pm 2,0	-1,0	
	5/2	7/2	90	300	65	0,5 \pm 0,8	-0,3	
	7/2	7/2	187	15	3,5			
^{155}Eu	3/2	5/2	246	2,5	8	0,27 \pm 0,27	-0,14	
	3/2	7/2	167	2	6			
	5/2	5/2	307	2,5	8			
	5/2	7/2	228	60	220			

а/ расчеты с параметрами $\Delta_z = 0,9 \text{ МэВ}, 1/2J = 13,2 \text{ кэВ}, Q_0 = 8 \text{ барн},$

б/ адиабатические оценки,

в/ расчеты с учетом кориолисова взаимодействия.

Таблица 6

Отношение приведенных вероятностей E2 -переходов в ^{157}Tb между ротационными полосами $5/2^+[413]$ и $3/2^+[411]$

$5/2^+[413]$	$3/2^+[411]$	E_{γ} , кэВ	$\frac{B(E2, I \rightarrow I')}{B(E2, 5/2 \rightarrow 3/2)}$		
			а)	б)	в)
I	I'	Экспер./8/			
5/2	3/2	328	0,67	-	-
5/2	5/2	267	(1,0)	(1,0)	(1,0)
7/2	3/2	408	0,67	0,52	~0,5
7/2	5/2	347	0,13	2,4	~0,9
7/2	7/2	264	0,76	-	-
9/2	5/2	453	0,57	0,46	~1
9/2	7/2	370	0,56	2,2	~0,3

а/ расчет с параметрами $\Delta_z = 0,7 \text{ МэВ}$, $1/2] = 13 \text{ кэВ}$,
 б/ данные из реакции (d,2n);
 в/ данные из реакции (p,n).

Таблица 7

Эффективные заряды для некоторых E2 -переходов с $\Delta K=1$ в ядрах редкоземельной области и уране

	$K[Nn_2\Lambda]$	$K'[N'n_2'\Lambda']$	$E_K - E_{K'}$, МэВ	$\frac{e(K, K')}{e}$	
Z	63	3/2 [411]	5/2 [413]	0,16	1,86
	63	1/2 [420]	3/2 [411]	1,22	2,08
	63	3/2 [422]	5/2 [413]	2,03	2,36
	65	5/2 [413]	3/2 [411]	0,20	2,03
	71	5/2 [402]	7/2 [404]	0,40	-1,82
	73	7/2 [404]	5/2 [402]	0,63	-1,69
N	95	5/2 [523]	3/2 [521]	0,13	-2,17
	95	1/2 [521]	3/2 [521]	0,83	1,64
	141	5/2 [622]	3/2 [631]	0,80	0,90

а/ В рассматриваемых ядрах E2-переходы осуществляются между ротационными состояниями, построенными на одночастичных состояниях из разных подболочек. Поэтому одночастичные матричные элементы $\langle K' | \mathcal{M}(E2) | K \rangle$ для этих переходов на 2-3 порядка меньше коллективного параметра Q_0 , и, несмотря на то, что эффективные заряды довольно велики, вклад от одночастичных слагаемых в $B(E2)$ меньше 1%.

В ядре ^{235}U E2-переходы осуществляются между ротационными полосами, построенными на одночастичных состояниях из одной подболочки, поэтому $\langle K' | \mathcal{M}(E2) | K \rangle$ значительны. Учет одночастичных переходов приводит к изменению $B(E2)$ на 20-30%^{/6/}.

б/ Для оценки неадиабатических эффектов были проведены вычисления отношения интенсивностей переходов по правилу Алага^{/7/}:

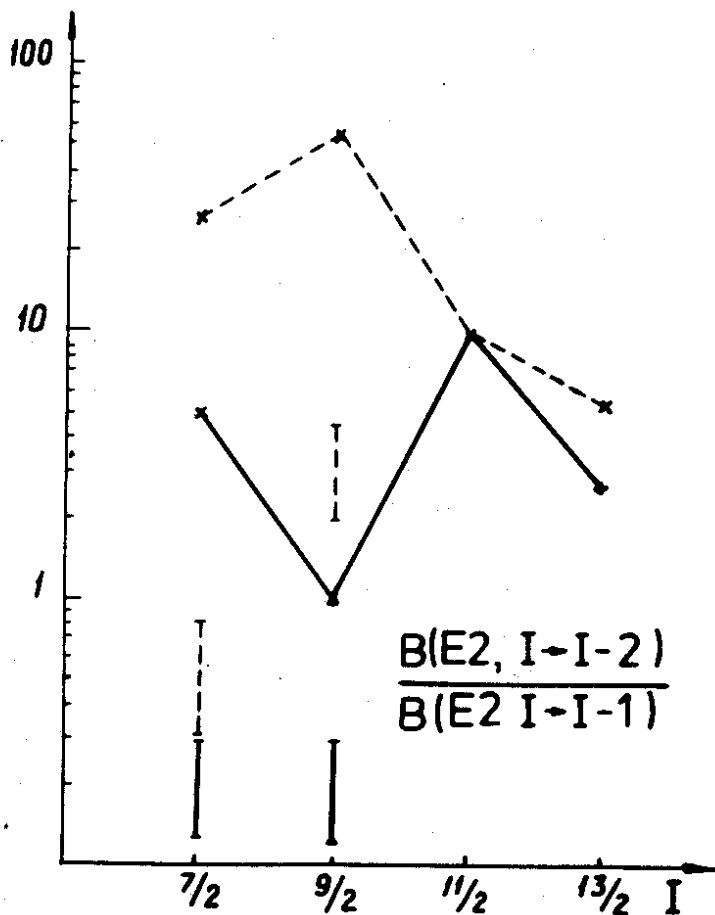
$$\frac{B(E2, I \rightarrow I')}{B(E2, I \rightarrow I'')} = \frac{\langle IK2K' - K | I'K' \rangle^2}{\langle IK2K' - K | I''K' \rangle^2}$$

Рассчитанные отношения приведенных вероятностей в большинстве ядер слабо отличаются от правила Алага. Более интересные результаты получены в ^{157}Tb . При заметном отличии от правила Алага расчет дает хорошее согласие с экспериментом /см. рисунок/.

в/ В большинстве исследованных в работе ядер известны абсолютные значения приведенных вероятностей E2-переходов между состояниями из разных ротационных полос. Вычисленные значения $B(E2, \Delta K=1)$ по порядку величины согласуются с экспериментом в ядрах ^{161}Dy ,

^{181}Ta , ^{153}Eu и ^{233}U . В табл. 2-5 $B(E2)$ выражена через коэффициенты задержки Вайскопфа $F_w = \frac{B(E2)_{\text{s.p.}}}{B(E2)}$ для

удобства сравнения с данными из^{/1/}. В этих ядрах исключение составляет лишь один из переходов в ^{153}Eu между состояниями $5/2^+ 3/2 [411]$ и $7/2^+ 5/2 [413]$, где, несмотря на совпадение по энергиям, абсолютная величина $B(E2)$ на 2 порядка меньше экспериментальной /табл. 5/.



Отношения приведенных вероятностей E2 - переходов между уровнями ротационных полос на состояниях $5/2^+[413]$ и $3/2^+[411]$ в ядре ^{157}Tb : - - - - - адиабатическое приближение /правило Алага/, ———— неадиабатические расчеты, I_2, I_1 - экспериментальные данные из (d, 2n) и (p, n) реакций, ¹соответственно /8/.

Абсолютные значения $B(E2)$ - для ядер ^{155}Eu и ^{175}Lu на 1-2 порядка меньше экспериментальных.
 Γ / B в ядре ^{157}Tb из эксперимента /8/ известны относительные интенсивности ряда переходов между ротационными полосами $5/2^+[413]$ и $3/2^+[411]$, полученные

из реакций $^{157}\text{Gd}(d, 2n)$ и $^{157}\text{Gd}(p, n)$. Проведенные расчеты /табл. 6/ указывают на хорошее согласие с экспериментом.

д/ Расчеты показали, что изменение параметров $1/2J$ и Δ на 10% приводит к изменению приведенной вероятности $B(E2, \Delta K=1)$ на 10% и 20%, соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе были проведены расчеты вероятностей $E2$ -переходов с $\Delta K=1$ в ядрах, где имеются экспериментальные данные. Результаты расчетов показывают, что основной вклад в приведенную вероятность перехода дают коллективные слагаемые оператора перехода, связанные с учетом кориолисова смешивания состояний. Вклад одночастичной части в большинстве случаев незначителен, за исключением переходов между вращательными полосами, построенными на состояниях из одной сферической подоболочки, где учет одночастичных переходов приводит к изменению $B(E2)$ на 20-30%. Теоретические результаты довольно хорошо согласуются с экспериментальными для всех рассматриваемых ядер.

ЛИТЕРАТУРА

1. Löbner K.E.G., Malmskog S.G. Nucl.Phys., 1966, 80, 505 .
Берлович Э.Е. Изв. АН СССР, сер. физ., 1965, 29, 2177.
2. Bohr A. Mat.Fis.Medd.Kgl. danske vid. Selskab., 1952, 26, No.14.
Bohr A., Mottelson B.R., Mat.Fys.Medd.Kgl. danske vid. Selskab, 1953, 27, No.16.
3. Faessler A., Nucl.Phys., 1966, 85, 679.
4. Baznat M.I., Pyatov N.I., Chemej M.I., Phys. Scr., 1972, 6, 227.
5. Базнат М.И., Пятов Н.И., Черней М.И. ЭЧАЯ, 1973, 4, 941.
6. Базнат М.И., Пятов Н.И. ЯФ, 1975, 21, 708.
7. Alaga G., et al. Mat.fys.medd. Kgl.danske vid Selskab, 1955, 29, No.9.

8. Winter G., et al. Nucl.Phys., 1971, A176, 609.
9. Lederer C.M., et al. Tables of Isotops (1968).
10. Kroger L.A., Reich C.W. Nucl.Data Sheets., 1975, 15, 409.
11. Richter M., et al. Z.Physik., 1969, 218, 223.
12. Hjorth S.A., et al. Nucl.Phys., 1972, A184, 113.
13. Winter G., et al. Тезисы докл. на XIII Совещ. по ядерн. спектр. и теории ядра. ОИЯИ, Д6-7094, Дубна, 1973, стр. 129.
14. Ellis Y.A., Nucl.Data Sheets, 1973, 9,319.
15. Ellis Y.A., Nucl.Data Sheets, 1971, B6,257.
16. Reyes-Suter P., Suter T., Ark.Phys., 1961,20,399.

*Рукопись поступила в издательский отдел
18 января 1977 года.*