

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



И-207

14/IV-75

P4 - 8582

С.П.Иванова, А.Л.Комов, Л.А.Малов, В.Г.Соловьев

1382/2-75

НЕРОТАЦИОННЫЕ СОСТОЯНИЯ НЕЧЕТНЫХ ЯДЕР
В ОБЛАСТИ $225 \leq A \leq 233$

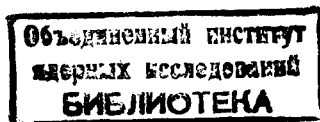
1975

P4 - 8582

С.П.Иванова, А.Л.Комов, Л.А.Малов, В.Г.Соловьев

НЕРОТАЦИОННЫЕ СОСТОЯНИЯ НЕЧЕТНЫХ ЯДЕР
В ОБЛАСТИ $225 \leq A \leq 233$

Направлено в "Известия АН СССР" (серия физическая).



1. В^{1-3/} рассчитаны энергии и структура низколежащих неротационных состояний нечетных ядер в области $235 \leq A \leq 261$ и получено достаточно хорошее их описание. В^{4,5/} уточнены параметры потенциала для области $224 \leq A \leq 234$ и рассчитаны параметры равновесной деформации и однофононные состояния четно-четных ядер. В настоящей работе для завершения цикла исследований деформированных ядер вычислены неротационные состояния нечетных изотопов радия, актиния, тория, протактиния и урана.

Данные расчеты выполняются с теми же одночастичными энергиями и волновыми функциями потенциала Саксона-Вудса, как в работе^{5/}. Взяты такие же, как в^{5/}, константы G_N , G_Z и параметры равновесной деформации $\beta_{20} = 0,19$ и $\beta_{40} = 0,10$. Изменение значений параметров β_{20}, β_{40} для ядер внутри области $225 \leq A \leq 233$ и учет отклонения равновесных деформаций возбужденных состояний от соответствующих величин для основных состояний может улучшить описание низколежащих неротационных состояний. В ядрах рассматриваемой области весьма важную роль играет кориолисово взаимодействие, которое может заметно изменить положение и структуру ряда состояний.

2. Следуя^{6/}, волновую функцию нечетного ядра, описывающую состояние с данным K^π , запишем в виде

$$\Psi_j(K^\pi) = \frac{1}{\sqrt{2}} \left\{ \sum_{\sigma} \sum_n C_{\rho_n}^j a_{\rho_n}^+ \sigma + \sum_{\lambda \mu i} \sum_{s\sigma} D^{\lambda \mu i j} \rho_1 \dots \rho_n s\sigma a_{s\sigma}^+ Q^{+(\lambda \mu)} \Psi_0 \right.$$

/1/

Условие нормировки волновой функции /1/ имеет вид

$$\sum_n (C_{\rho_n}^j)^2 + \frac{1}{2} \sum_{\lambda \mu i} \sum_{s \sigma} (D_{\rho_1 \dots \rho_n s \sigma}^{\lambda \mu i j})^2 = 1. \quad /2/$$

Величина $(C_{\rho_n}^j)^2$ определяет вклад одноквазичастичной компоненты с данным ρ_n , а $\frac{1}{2} \sum_{s \sigma} (D_{\rho_1 \dots \rho_n s \sigma}^{\lambda \mu i j})^2$ - вклад компоненты с квазичастицей в состоянии s плюс фонон $\lambda \mu i$ в волновую функцию $\Psi_j(K^\pi)$. При вычислении энергий и волновых функций неротационных состояний в нечетных ядрах находят среднее значение гамильтониана, включающего спаривательное и мультиполь-мультипольное остаточные взаимодействия, по состоянию /1/. Из условия минимума энергии получают секулярное уравнение, определяющее энергии неротационных состояний. В наших расчетах низколежащих неротационных состояний нечетных ядер мы учитывали взаимодействие квазичастиц с квадрупольными и октупольными колебаниями четно-четного остова. При этом принимаются во внимание первые два фона на каждой мультипольности, то-есть суммирование в /1/ проводится по $\lambda \mu = 20, 22, 30, 31, 32, 33$ и при $i = 1, 2$.

В таблицах 1-9 приведены результаты расчетов неротационных состояний нечетных N-ядер ^{225}Ra , ^{229}Th , ^{231}Th , ^{233}Th , ^{233}U и нечетных Z-ядер ^{225}Ac , ^{227}Ac , ^{231}Pa , ^{233}Pa . В этих таблицах даны значения K^π , экспериментальные значения энергий, взятые из /7/, вычисленные энергии всех неротационных состояний до 1 МэВ, а также приведена структура этих состояний, т.е. даны величины $(C_{\rho_n}^j)^2$ /если $(C_{\rho_n}^1)^2 \geq 0,01/$ и значения

$$(D_{\rho_1 \dots \rho_n}^{\lambda \mu i j})^2 \text{ для двух наибольших компонент квазичасти-$$

ца плюс фонов. Как видно из таблиц, наибольший вклад в волновые функции низколежащих состояний нечетных ядер дают компоненты, содержащие фононы с $\lambda \mu = 20, 22, 30, 31$ и $i = 1$.

Волновые функции одночастичных состояний деформи-

рованных ядер представляют собой суперпозицию компонент с разными n, ℓ, j при данном K^π . Как правило, в такой сумме присутствует одна доминирующая величина, по которой этому уровню и приписывается определенное значение ρ . Однако для ядер рассматриваемой области характерна большая плотность уровней и существование квазипересечений состояний при значениях деформаций, близких к равновесным /см. рис. 1,2 в работе /5/. Это приводит к тому, что одночастичная волновая функция состояния представляет собой смесь компонент с разными N, например $[770^\dagger]$ и $[501^\dagger]$ для $K^\pi = 1/2^-$ или $[660^\dagger]$ и $[400^\dagger]$ для $K^\pi = 1/2^+$.

Наличие взаимодействия квазичастиц с фонами приводит к смешиванию одноквазичастичных уровней как для состояний с $K^\pi = 1/2^-, 1/2^+$, так и с $K^\pi = 3/2^-, 3/2^+, 5/2^-, 5/2^+$ в нечетных N-ядрах и с $K^\pi = 3/2^+$ в нечетных Z-ядрах. Причем следует заметить, что в нечетных N-ядрах этот эффект проявляется в большей степени, чем в нечетных Z-ядрах. Это объясняется тем, что плотность уровней вблизи энергии Ферми в нейтронной одночастичной схеме больше, чем в протонной.

Проведенные исследования показали, что теория в общих чертах правильно передает структуру нижайших состояний ядер с нечетным числом нейтронов или протонов. Этот результат заранее не был очевиден, так как рассматриваемые ядра принадлежат к переходной области, характеризуемой сильной связью между квазичастичным, фононным и ротационным движениями. Ценность проведенной работы состоит главным образом в создании базиса, на основе которого можно изучать многие характеристики ядер указанной области.

Более полная картина низколежащих состояний может быть получена при учете ротационного движения.

“Мягкость” ядер относительно β - и γ -деформаций может привести к различным значениям равновесных деформаций для основного и возбужденных состояний, что способно заметно изменить структуру некоторых из них.

Исследования, проведенные в /8/, показали, что в волновых функциях состояний с энергией более 0,5 МэВ важную роль могут играть компоненты квазичастица

плюс два фюна. Роль этих компонент особенно велика в ядрах, имеющих низкие однофюнные состояния. В четно-четных ядрах изучаемой области имеются низколежащие однофюнные октупольные состояния с $K^\pi = 0^-$. Поэтому в нечетных ядрах этой области учет компонент квазичастица плюс два фюна может изменить структуру ряда состояний с энергией возбуждения больше $0,3 \div 0,5$ МэВ.

ТАБЛИЦА I.

Энергии и структура основного и возбужденных состояний ^{225}Ra .

Литература

1. А.Л.Комов, Л.А.Малов, В.Г.Соловьев. Сообщение ОИЯИ, Р4-5126, Дубна, 1970;
А.Л.Комов, Л.А.Малов, В.Г.Соловьев. Изв. АН СССР, сер. физ., 35, 1550 /1971/.
2. F.A.Gareev, S.P.Ivanova, L.A.Malov, V.G.Soloviev. Nucl. Phys., A171, 134 (1971).
3. С.П.Иванова, А.Л.Комов, Л.А.Малов, В.Г.Соловьев. Изв. АН СССР, сер. физ., 37, 911 /1973/.
4. С.П.Иванова, А.Л.Комов, Н.Ю.Ширикова. Сообщение ОИЯИ, Р4-8406, Дубна, 1974.
5. С.П.Иванова, А.Л.Комов, Л.А.Малов, В.Г.Соловьев. Препринт ОИЯИ, Р4-8459, Дубна, 1974.
6. В.Г.Соловьев. Теория сложных ядер, "Наука", М., 1971.
7. Nuclear Level Schemes $A=45$ through $A=257$ from Nuclear Data Sheets, Academic Press, inc., New York and London, 1973;
Y.A.Ellis and M.R.Schmorak. Nucl. Data Sheets, v. 8, No. 4 (1972);
W.Teoh, R.D.Connor and R.H.Betts. Nucl.Phys., A228, 432 (1974);
T. von Egidy, O.W.B.Schult et al. Phys.Rev., C6, 266 (1972);
T.Grotdal, J.Limstrand et al. Nucl. Phys., A189, 592 (1972);
J.Kern and D.Duc. Phys.Rev., C10, 1554 (1974).
8. Л.А.Малов, В.О.Нестеренко, В.Г.Соловьев. Препринт ОИЯИ, Р4-8499, Дубна, 1975.

K^π	$E_{\text{эксп.}}$ (кэВ)	$E_{\text{теор.}}$ (кэВ)	СТРУКТУРА (%)								
$5/2^-$	0	0	752↑	88			633↓	$Q_1(30)6$;	631↑	$Q_1(31)1$,
$5/2^+$	236	160	633↓	77;	622↑	2;	752↑	$Q_1(30)11$;	743↑	$Q_1(31)5$;
$3/2^-$		240	761↑	84;			642↓	$Q_1(30)6$;	501↓	$Q_1(22)3$;
$3/2^+$		280	631↑	92;			752↑	$Q_1(31)3$;	631↓	$Q_1(22)2$;
$1/2^+$		410	640↑	68;	631↓	1;	640↑	$Q_1(20)20$;	501↓	$Q_1(30)3$;
$1/2^-$		420	770↑	48;	501↓	26;	503↓	$Q_1(22)11$;	501↑	$Q_1(22)6$;
$1/2^-$		460	501↓	48;	770↑	27;	761↑	$Q_1(22)6$;	770↑	$Q_1(20)3$;
$3/2^+$		480	642↓	72;			761↑	$Q_1(30)14$;	501↓	$Q_1(31)3$;
$7/2^-$		640	743↑	68;			633↓	$Q_1(31)19$;	624↓	$Q_1(30)4$;
$5/2^-$		740	503↓	68;			770↑	$Q_1(22)28$;	501↓	$Q_1(22)1$;
$1/2^+$		750	631↓	59;	651↓	1;	633↓	$Q_1(22)15$;	631↑	$Q_1(22)13$;
$3/2^-$		980	501↑	43;	512↓	3;	770↑	$Q_1(22)44$;	631↑	$Q_1(30)4$.

Рукопись поступила в издательский отдел
4 февраля 1975 года.

ТАБЛИЦА 2.

Энергии и структура основного и возбужденных состояний ^{229}Th .

K^π	$E_{\text{эксп.}}$ (кэВ)	$E_{\text{теор.}}$ (кэВ)	СТРУКТУРА (%)	
$5/2^+$	0	0	$633\downarrow 87$; $622\uparrow I$;	$743\uparrow Q_1(3I)4$; $63I\downarrow Q_1(22) 2$;
$5/2^-$		30	$752\uparrow 93$;	$50I\downarrow Q_1(22)I$; $633\downarrow Q_1(30) I$;
$3/2^+$	$\sim 0, I$	90	$63I\uparrow 93$; $642\downarrow I$;	$63I\uparrow Q_1(20)2$; $63I\downarrow Q_1(22) I$;
$7/2^-$		400	$743\uparrow 75$;	$633\downarrow Q_1(3I)I5$; $624\downarrow Q_1(30) 3$;
$1/2^+$	262	440	$63I\downarrow 70$; $640\uparrow I$;	$65I\downarrow I$; $63I\downarrow Q_1(20) I2$;
$3/2^-$		460	$76I\uparrow 82$;	$642\downarrow Q_1(30)5$; $50I\downarrow Q_1(22) 4$;
$3/2^+$		500	$642\downarrow 64$; $63I\uparrow I$;	$642\downarrow Q_1(20)I4$; $76I\uparrow Q_1(30) 6$;
$1/2^+$		520	$640\uparrow 64$; $63I\downarrow I$;	$640\uparrow Q_1(20)24$; $76I\uparrow Q_1(3I) 2$;
$1/2^-$		580	$50I\downarrow 42$; $770\uparrow 29$;	$503\downarrow Q_1(22)I0$; $50I\uparrow Q_1(22) 5$;
$1/2^-$		720	$770\uparrow 39$; $50I\downarrow 3I$;	$76I\uparrow Q_1(22)6$; $752\uparrow Q_1(22) 5$;
$5/2^-$		730	$503\downarrow 64$;	$770\uparrow Q_1(22)I7$; $503\downarrow Q_1(20) I4$;
$7/2^+$		770	$624\downarrow 73$;	$743\uparrow Q_1(30)I2$; $734\uparrow Q_1(3I) 5$;
$5/2^+$		940	$622\uparrow 36$; $633\downarrow 2$;	$752\uparrow Q_1(30)42$; $633\downarrow Q_1(20) I3$;
$1/2^-$		990	$50I\uparrow 3$;	$63I\uparrow Q_1(3I)95$;
$3/2^-$	1010		$50I\uparrow 5$; $76I\uparrow 2$;	$63I\uparrow Q_1(30)89$; $770\uparrow Q_1(22) 2$;
$7/2^+$	1020		$624\uparrow I$;	$752\uparrow Q_1(3I)98$;

ТАБЛИЦА 3.

Энергии и структура основного и возбужденных состояний ^{231}Th .

K^π	$E_{\text{эксп.}}$ (кэВ)	$E_{\text{теор.}}$ (кэВ)	СТРУКТУРА (%)	
$5/2^+$	0	0	$633\downarrow 9I$; $622\uparrow I$;	$63I\downarrow Q_1(22) 2$; $743\uparrow Q_1(3I)I$;
$5/2^-$	185	220	$752\uparrow 92$;	$50I\downarrow Q_1(22) 2$; $633\downarrow Q_1(30)I$;
$3/2^+$	228	230	$63I\uparrow 94$; $642\downarrow I$;	$76I\uparrow Q_1(30) I$; $63I\downarrow Q_1(22)I$;
$1/2^+$	273	240	$63I\downarrow 72$; $640\uparrow I$;	$63I\downarrow Q_1(20)20$; $633\downarrow Q_1(22)4$;
$7/2^-$	386	310	$743\uparrow 90$; $624\downarrow 3$;	$633\downarrow Q_1(3I) 2$; $622\uparrow Q_1(30)3$;
$7/2^+$		560	$624\downarrow 80$;	$743\uparrow Q_1(30) 7$; $622\downarrow Q_1(22)4$;
$1/2^+$		610	$640\uparrow 50$; $63I\downarrow 5$;	$620\uparrow I$; $65I\downarrow I$; $640\uparrow Q_1(20)30$;
$1/2^-$	557	670	$50I\downarrow 47$; $770\uparrow 8$;	$752\uparrow Q_1(22)I9$; $770\uparrow Q_1(20)7$;
$3/2^-$		720	$76I\uparrow 74$; $50I\uparrow I$;	$63I\uparrow Q_1(30)I0$; $50I\downarrow Q_1(22)6$;
$1/2^-$		760	$770\uparrow 58$; $50I\downarrow 5$;	$503\downarrow Q_1(22)I0$; $50I\downarrow Q_1(20)8$;
$5/2^+$		790	$622\uparrow 47$; $633\downarrow I$;	$633\downarrow Q_1(20)46$; $743\uparrow Q_1(3I)2$;
$9/2^+$		860	$615\downarrow 73$;	$633\downarrow Q_1(22)I6$; $613\downarrow Q_1(22)5$;
$3/2^+$	(870)	880	$642\downarrow I8$; $622\downarrow I$;	$63I\uparrow Q_1(20)73$; $752\uparrow Q_1(3I)2$;
$5/2^-$	876	950	$503\downarrow I3$;	$752\uparrow Q_1(20)76$; $770\uparrow Q_1(22)5$;
$9/2^-$		1020	$734\uparrow 40$;	$752\uparrow Q_1(22)3I$; $633\downarrow Q_1(32)I9$;

ТАБЛИЦА 4.

Энергии и структура основного и возбужденного состояний ядра ^{233}Th .

№	$E_{\text{эксп.}}$ (кэВ)	$E_{\text{теор.}}$ (кэВ)	СТРУКТУРА	
$7/2^-$	(~10)	0	$743\uparrow 94;$	$624\uparrow Q_1(30) 2; 622\uparrow Q_1(31) I;$
$1/2^+$	0	50	$631\uparrow 83;$	$631\uparrow Q_1(20) I5;$
$5/2^+$	~6	120	$622\uparrow 86; 633\downarrow 6;$	$734\uparrow Q_1(32) 3; 620\uparrow Q_1(22) 2;$
$5/2^+$	262	290	$633\downarrow 85; 622\uparrow 6;$	$752\uparrow Q_1(30) 5; 503\downarrow Q_1(30) I;$
$5/2^-$		320	$752\uparrow 84;$	$633\downarrow Q_1(30) 9; 501\downarrow Q_1(22) 2;$
$7/2^+$	278	460	$624\downarrow 71; 613\uparrow 4;$	$743\uparrow Q_1(30) I9; 622\downarrow Q_1(22) 2;$
$1/2^-$	538	580	$501\downarrow 73; 770\uparrow I;$	$503\downarrow Q_1(22) I4; 501\uparrow Q_1(22) 8;$
$3/2^+$	336	630	$631\uparrow 84; 642\downarrow I;$	$761\uparrow Q_1(30) 6; 752\uparrow Q_1(31) 3;$
$3/2^-$		750	$761\uparrow 61; 501\uparrow 3;$	$631\uparrow Q_1(30) I7; 743\uparrow Q_1(22) 5;$
$9/2^-$		840	$734\uparrow 65;$	$622\uparrow Q_1(32) 26; 624\downarrow Q_1(31) 2;$
$5/2^-$		860	$503\downarrow 49; 752\uparrow 3;$	$770\uparrow Q_1(22) 32; 633\downarrow Q_1(30) II;$
$1/2^-$		890	$501\downarrow 38; 770\uparrow 2;$	$752\uparrow Q_1(22) 36; 631\downarrow Q_1(30) 8;$
$9/2^+$		1020	$615\downarrow I;$	$633\downarrow Q_1(22) 99;$
$3/2^-$		1040	$501\uparrow 29; 761\uparrow 2;$	$770\uparrow Q_1(22) 35; 743\uparrow Q_1(22) 27;$
$1/2^-$		1070	$510\uparrow 8; 501\downarrow 2;$	$631\downarrow Q_1(30) 71; 752\uparrow Q_1(22) II;$
$3/2^+$		1080	$622\downarrow 2; 631\uparrow I;$	$642\downarrow I; 631\downarrow Q_1(22) 95;$
$1/2^+$	1097	1090	$620\uparrow I6; 631\uparrow I;$	$640\uparrow I; 651\downarrow I; 622\uparrow Q_1(22) 54;$ $633\downarrow Q_1(22) I7;$

ТАБЛИЦА 5.

Энергии и структура основного и возбужденных состояний ^{233}U .

№	$E_{\text{эксп.}}$ (кэВ)	$E_{\text{теор.}}$ (кэВ)	СТРУКТУРА (%)	
$5/2^+$	0	0	$633\downarrow 91; 622\uparrow I;$	$631\downarrow Q_1(22) I; 752\uparrow Q_1(30) I;$
$5/2^-$		190	$752\uparrow 90;$	$633\downarrow Q_1(30) 3; 501\downarrow Q_1(22) 2;$
$3/2^+$	313	210	$631\uparrow 93; 642\downarrow I;$	$761\uparrow Q_1(30) 2; 631\downarrow Q_1(22) I;$
$7/2^-$		270	$743\uparrow 88;$	$624\downarrow Q_1(30) 7; 633\downarrow Q_1(31) I;$
$1/2^+$	396	410	$631\downarrow 84; 620\uparrow I;$	$633\downarrow Q_1(22) 9; 631\uparrow Q_1(22) 2;$
$7/2^+$		460	$624\downarrow 71;$	$743\uparrow Q_1(30) 21; 622\uparrow Q_1(22) 3;$
$3/2^-$		560	$761\uparrow 60; 501\uparrow I;$	$631\uparrow Q_1(30) 26; 642\downarrow Q_1(30) 6;$
$1/2^-$	572	640	$501\downarrow 52; 770\uparrow 6;$	$752\uparrow Q_1(22) I7; 770\uparrow Q_1(20) 7;$
$5/2^+$		790	$622\uparrow 52;$	$633\downarrow Q_1(20) 28; 752\uparrow Q_1(30) I6;$
$1/2^-$		800	$770\uparrow 61; 501\downarrow 8;$	$503\downarrow Q_1(22) I2; 501\downarrow Q_1(20) 9;$
$9/2^+$		850	$615\downarrow 80;$	$633\downarrow Q_1(22) 8; 613\downarrow Q_1(22) 4;$
$3/2^+$		880	$642\downarrow 36; 622\downarrow I;$	$631\uparrow I; 631\uparrow Q_1(20) 44; 761\uparrow Q_1(30) II;$
$3/2^-$		930	$761\uparrow 20; 501\uparrow 2;$	$631\uparrow Q_1(30) 70; 642\downarrow Q_1(30) 4;$
$9/2^-$		1020	$734\uparrow 42;$	$633\downarrow Q_1(32) 37; 752\uparrow Q_1(22) I4;$

ТАБЛИЦА 6.
Энергии и структура основного и возбужденных состояний ^{225}Ac .

K^π	$E_{\text{эксп.}}$ (кэВ)	$E_{\text{теор.}}$ (кэВ)	СТРУКТУРА (%)	
$3/2^+$ (40)	0	651↑ 93;	52I↑ $Q_1(30)$ I ;	54I↑ $Q_1(30)$ I ;
$1/2^-$	100	530↑ 96;	642↓ $Q_1(32)$ I ;	
$3/2^-$ (0)	200	532↓ 95;	402↓ $Q_1(30)$ I ;	4II↓ $Q_1(31)$ I ;
$1/2^+$	310	660↑ 72; 400↑ I5 ;	400↑ $Q_1(20)$ 4 ;	402↓ $Q_1(22)$ 2 ;
$5/2^+$	390	642↑ 89;	52I↑ $Q_1(31)$ 3 ;	530↑ $Q_1(32)$ 2 ;
$1/2^+$	400	400↑ 70; 660↑ I4 ;	660↑ $Q_1(20)$ 6 ;	402↓ $Q_1(22)$ 5 ;
$3/2^+$	540	402↓ 80;	660↑ $Q_1(22)$ I0;	532↓ $Q_1(30)$ 5 ;
$3/2^-$	760	52I↑ 25;	65I↑ $Q_1(30)$ 65;	642↑ $Q_1(31)$ 6 ;
$5/2^-$	910	523↓ 56; 5I2↑ 2 ;	65I↑ $Q_1(31)$ 23;	642↑ $Q_1(30)$ I5;
$1/2^+$	940	4II↓ 8;	532↓ $Q_1(31)$ 68;	530↑ $Q_1(31)$ I9;
$1/2^+$	1010		530↑ $Q_1(30)$ 96;	532↓ $Q_1(31)$ 2 ;
$3/2^+$	1040	4II↑ I;	530↑ $Q_1(31)$ 89;	65I↑ $Q_1(20)$ 6 ;

ТАБЛИЦА 7.
Энергии и структура основного и возбужденных состояний ядра ^{227}Ac .

K^π	$E_{\text{эксп.}}$ (кэВ)	$E_{\text{теор.}}$ (кэВ)	СТРУКТУРА (%)	
$3/2^+$ (27)	0	65I↑ 94;	52I↑ $Q_1(30)$ I ;	54I↑ $Q_1(30)$ I ;
$1/2^-$ (330)	100	530↑ 96;	642↑ $Q_1(32)$ I ;	
$3/2^-$ (0)	150	532↓ 96;	402↓ $Q_1(30)$ I ;	4II↓ $Q_1(31)$ I ;
$1/2^+$	280	660↑ 76; 400↑ I0;	400↑ $Q_1(20)$ 5 ;	402↓ $Q_1(22)$ 2 ;
$1/2^+$	376	400↑ 74; 660↑ 9;	660↑ $Q_1(20)$ 8 ;	402↓ $Q_1(22)$ 3 ;
$5/2^+$	390	642↑ 90;	52I↑ $Q_1(31)$ 3 ;	530↑ $Q_1(32)$ 2 ;
$3/2^+$	530	402↓ 8I;	660↑ $Q_1(22)$ 8 ;	532↓ $Q_1(30)$ 6 ;
$3/2^-$	740	52I↑ I9;	65I↑ $Q_1(30)$ 75;	642↑ $Q_1(31)$ 3 ;
$5/2^-$	910	523↓ 60; 5I2↑ I;	65I↑ $Q_1(31)$ I8;	642↑ $Q_1(30)$ I7;
$3/2^+$	920	402↓ 4;	532↓ $Q_1(30)$ 92;	65I↑ $Q_1(20)$ 2 ;
$1/2^+$	930	4II↓ .I;	530↑ $Q_1(30)$ 87;	532↓ $Q_1(31)$ 9 ;
$1/2^+$	960	4II↓ 5; 400↑ I;	532↓ $Q_1(31)$ 64;	530↑ $Q_1(31)$ I6;
$1/2^-$	990		65I↑ $Q_1(31)$ 96;	660↑ $Q_1(30)$ 2 ;
$5/2^-$	1010	523↓ II;	65I↑ $Q_1(31)$ 82;	642↑ $Q_1(30)$ 6 ;

ТАБЛИЦА 8.
Энергии и структура основного и возбужденных состояний ^{231}Pa .

K^π	$E_{\text{эксп.}}$ (кэВ)	$E_{\text{теор.}}$ (кэВ)	СТРУКТУРА (%)			
$1/2^-$	0	0	530↑ 96;	52I↓ I;	660↑ $Q_1(30)$ I;	
$5/2^+$	184	160	642↑ 94;		52I↑ $Q_1(31)$ I;	523↑ $Q_1(30)$ I;
$3/2^+$	~100	190	65I↑ 92;	402↓ 2;	400↑ $Q_1(22)$ 2;	660↑ $Q_1(22)$ I;
$1/2^+$		380	660↑ 60;	400↑ I0;	400↑ $Q_1(20)$ I3;	402↓ $Q_1(22)$ 5;
$3/2^-$		440	532↓ 93;		530↑ $Q_1(22)$ 2;	402↓ $Q_1(30)$ I;
$1/2^+$		510	400↑ 58;	660↑ 8;	660↑ $Q_1(20)$ 22;	402↓ $Q_1(22)$ 5;
$5/2^-$	~170	640	523↓ 92;		642↑ $Q_1(30)$ 5;	52I↑ $Q_1(22)$ I;
$3/2^+$		690	402↓ 6I;		660↑ $Q_1(22)$ I6;	65I↑ $Q_1(20)$ I5;
$1/2^m$		810	52I↓ I;		530↑ $Q_1(20)$ 99;	
$3/2^-$		840	52I↑ 58;		530↑ $Q_1(22)$ I6;	
$5/2^-$		970	5I2↑ I;	523↓ I;	530↑ $Q_1(22)$ 98;	
$1/2^+$		1000	660↑ I;		530↑ $Q_1(30)$ 93;	65I↑ $Q_1(22)$ 3;
$3/2^-$		1010	52I↑ 7;	532↓ 2,	530↑ $Q_1(22)$ 76;	532↓ $Q_1(20)$ 7;

ТАБЛИЦА 9.
Энергии и структура основного и возбужденных состояний ^{233}Pa .

K^π	$E_{\text{эксп.}}$ (кэВ)	$E_{\text{теор.}}$ (кэВ)	СТРУКТУРА (%)			
$1/2^-$	0	0	530↑ 96;		4II↓ $Q_1(31)$ I;	
$5/2^+$	238	180	642↑ 94;		52I↑ $Q_1(31)$ I;	5I2↑ $Q_1(30)$ I;
$3/2^+$	~100	190	65I↑ 93;		400↑ $Q_1(22)$ I;	530↑ $Q_1(31)$ I;
$3/2^-$		430	532↓ 94;		530↑ $Q_1(22)$ 2;	
$1/2^+$	(169)	470	660↑ 70;	400↑ I0;	400↑ $Q_1(20)$ II;	402↓ $Q_1(22)$ 4;
$1/2^+$		580	400↑ 60;	660↑ I0;	660↑ $Q_1(20)$ I8;	402↓ $Q_1(22)$ 4;
$5/2^-$		660	523↓ 94;	5I2↑ I;	642↑ $Q_1(30)$ 3;	52I↓ $Q_1(22)$ I;
$3/2^+$		760	402↓ 64;		660↑ $Q_1(22)$ I6;	65I↑ $Q_1(20)$ II;
$3/2^-$		790	52I↑ 56;		642↑ $Q_1(31)$ 32;	
$1/2^+$		870	4II↓ 3;		530↑ $Q_1(31)$ 90;	532↓ $Q_1(31)$ 4;
$3/2^+$		900	402↓ 2;	65I↑ I;	4II↑ I;	530↑ $Q_1(31)$ 95;
$1/2^-$		910	52I↓ I;		530↑ $Q_1(20)$ 99;	
$5/2^+$		980	5I2↑ I;		530↑ $Q_1(22)$ 99;	
$3/2^+$		1000	52I↑ 2;	532↓ I;	530↑ $Q_1(22)$ 9I;	642↑ $Q_1(31)$ 5;