

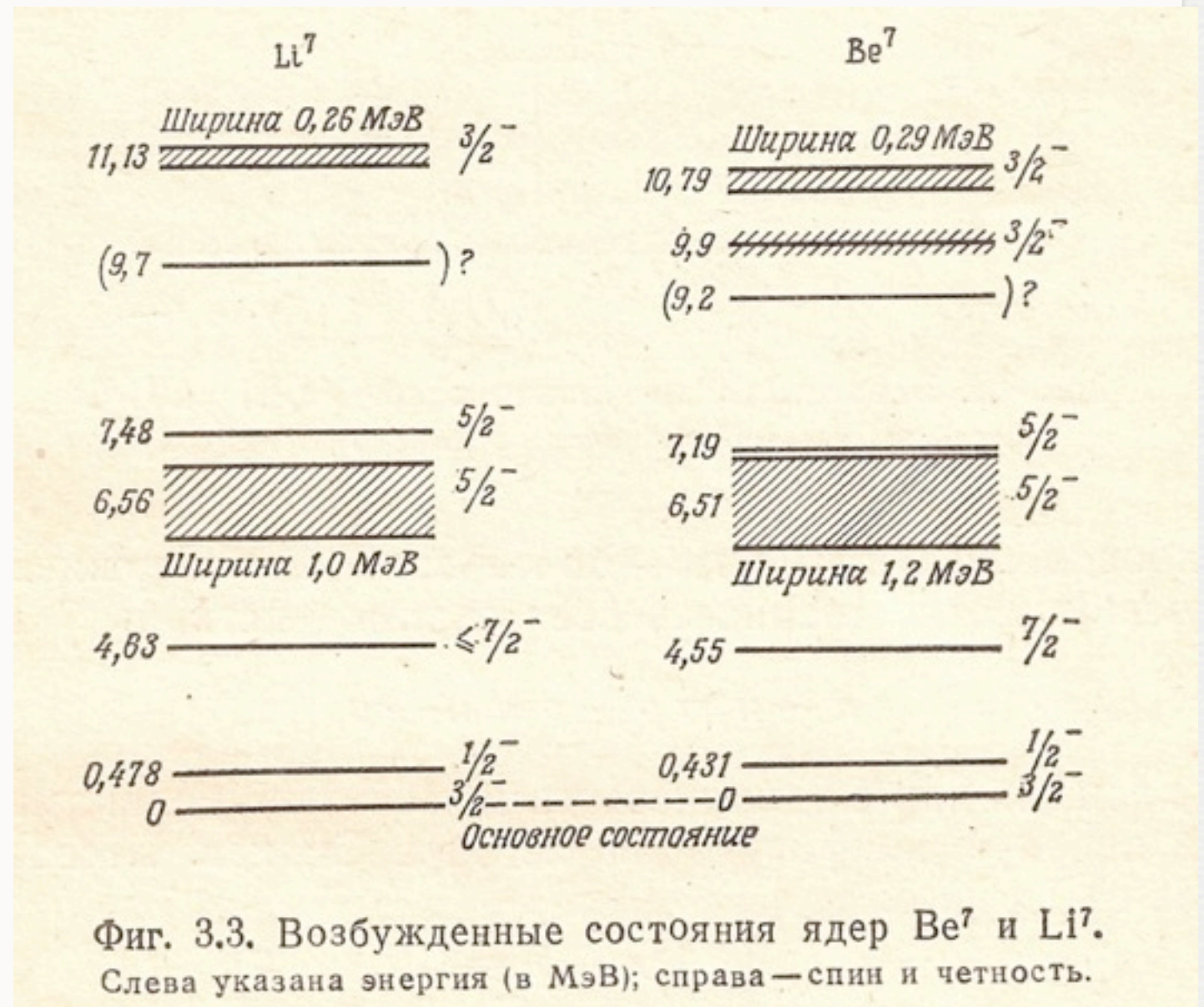
Зарядовая симметрии ядерных сил

Р.М. Джилкибаев



ЗЕРКАЛЬНЫЕ ЯДРА

- ${}^7_3\text{Li}$ и ${}^7_4\text{Be}$
- Энергии связи мало
- различаются ~ 1 МэВ
- Кулоновская энергия
- Изотопическая
- инвариантность

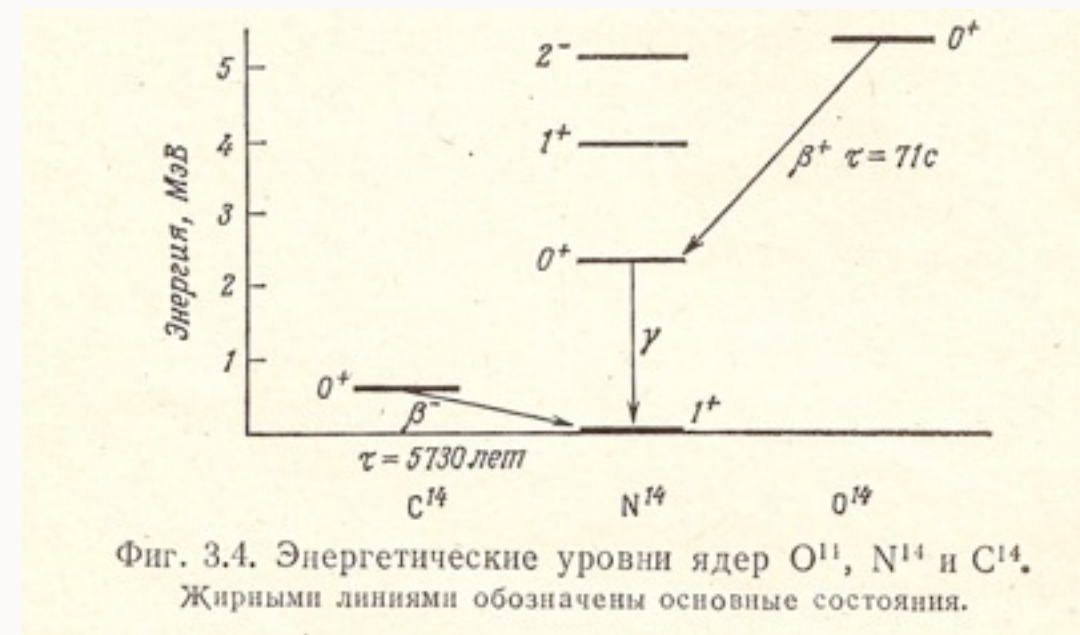


ИЗОСПИН НУКЛОНА

- Протон, нейтрон - как разные зарядовые состояния нуклона $|I, I_3\rangle$
- протон - $|1/2, 1/2\rangle$, нейтрон - $|1/2, -1/2\rangle$
- электрический заряд связан с I_3 $Q/e = B/2 + I_3$
- Q и B сохраняются, I_3 - то же сохраняется в сил. и эл.-м.
- p, n - различаются при вкл. эл.-м. взаимодействия

СОХРАНЕНИЕ ИЗОСПИНА

- сохранение изоспина - больше, чем заряд. независ.
- обобщение от нуклона к другим адронам и ядру
- C^{14} - (1,-1), O^{14} - (1,+1), N^{14} - (1,0)
- O^{16} , $d(n,p)$ и $He^4(\alpha)$: $I = 0$
- $O^{16} + d \rightarrow N^{14*} + He^4$; $\sigma \sim \alpha$
- $d + d \rightarrow He^4 + \pi^0(1,0)$; $\sigma \sim \alpha$



ПИОН-НУКЛОННОЕ РАССЕЯНИЕ

■ Две амплитуды - $I = 3/2$ и $1/2$

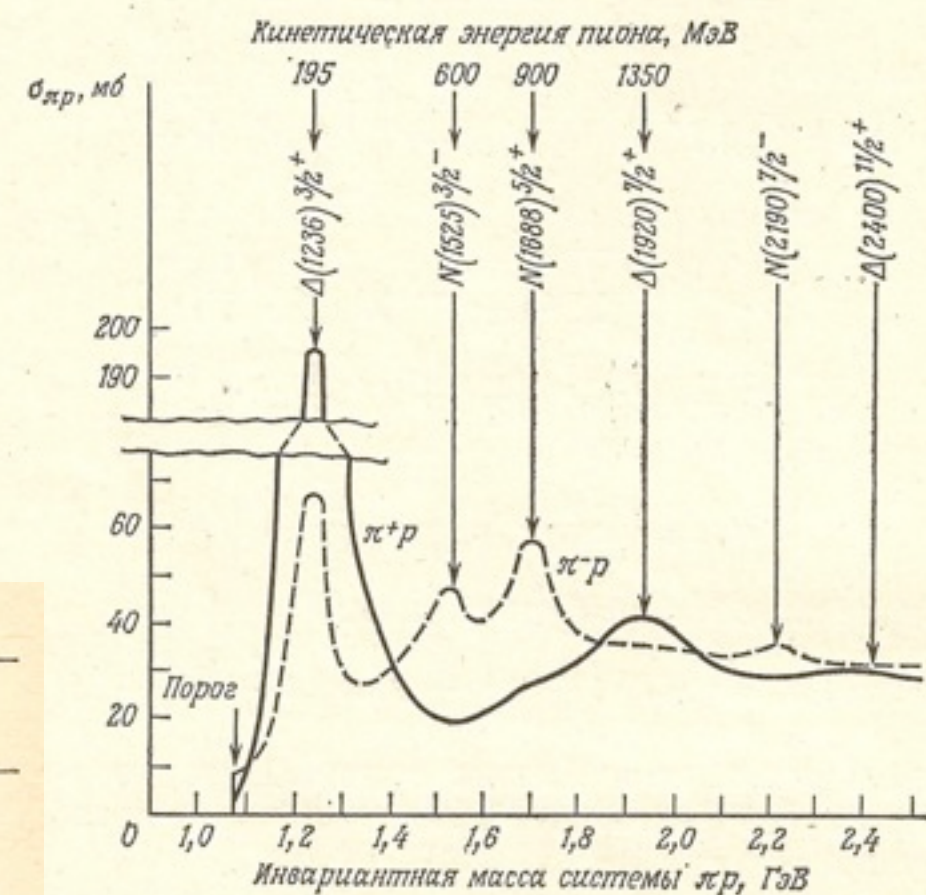
■ $\pi^+ + p \rightarrow \pi^+ + p$

■ $\pi^- + p \rightarrow \pi^- + p$

■ $\pi^- + p \rightarrow \pi^0 + p$

Коэффициенты Клебша — Гордана для пион-нуклонного рассеяния

Пион	Нуклон	$I = 3/2$				$I = 1/2$	
		$I = 3/2$	$1/2$	$-1/2$	$-1/3$	$1/2$	$-1/2$
π^+	p	1					
π^+	n		$\sqrt{1/3}$			$\sqrt{2/3}$	
π^0	p		$\sqrt{2/3}$			$-\sqrt{1/3}$	
π^0	n			$\sqrt{2/3}$			$\sqrt{1/3}$
π^-	p			$\sqrt{1/3}$			$-\sqrt{2/3}$
π^-	n				1		



Полные сечения взаимодействия π^+ - и π^- -мезонов с протонами. обозначены резонансы с $I = 1/2$; символом N — с $I = 3/2$. Для некоторых из этих состояний указано их положение, а также спин и четность.

ИЗОСПИН ПИОНА, КАОНА

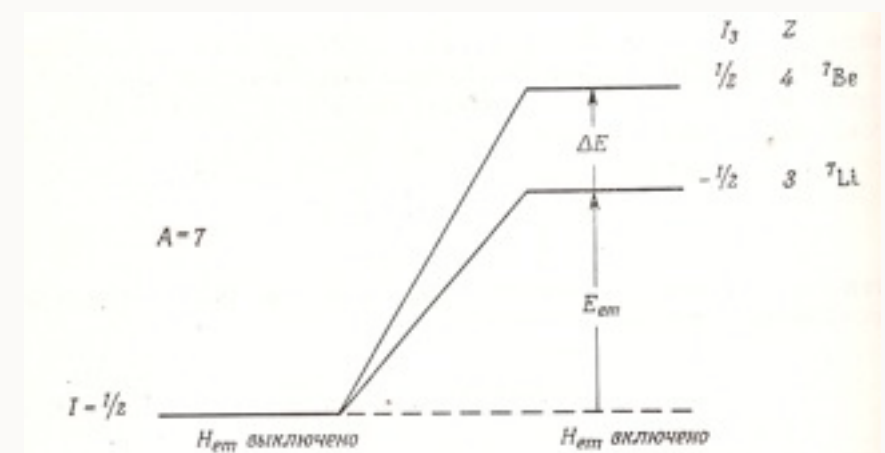
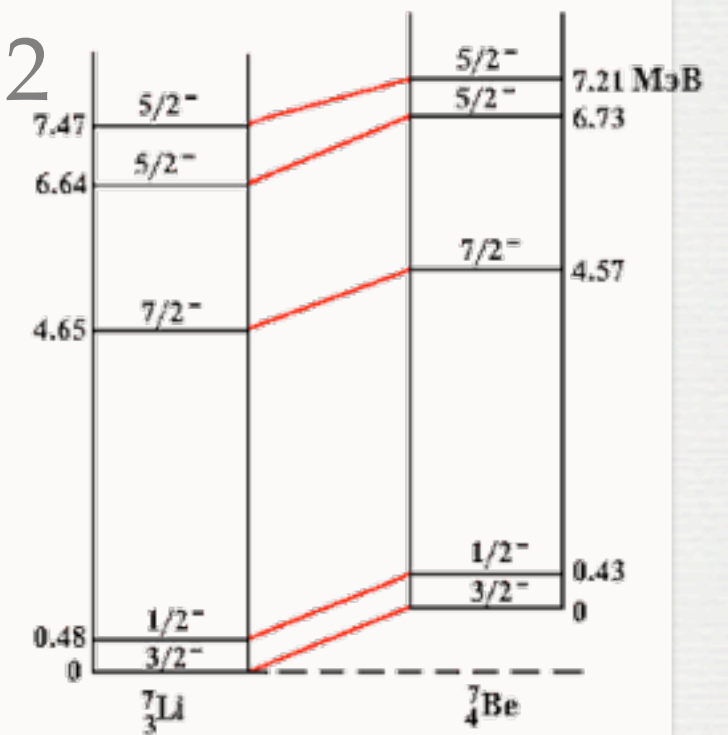
- $(\pi^+, \pi^0, \pi^-) - I_3 (+1, 0, -1)$
- $Q/e = B/2 + S/2 + I_3$
- $\Delta m/m \sim \alpha$

Разность масс членов изоспиновых мультиплетов			
	$\Delta m, \text{ МэВ}/c^2$	$m_{\text{ср}}, \text{ МэВ}/c^2$	$\Delta m/m, 10^{-3}$
$n - p$	1,3	939	1,4
$\Sigma^0 - \Sigma^+$	3,1	1191	2,6
$\Sigma^- - \Sigma^0$	4,9	1195	4,1
$\Xi^- - \Xi^0$	6,4	1318	4,9
$K^0 - K^\pm$	4,0	496	8,0
$\pi^\pm - \pi^0$	4,6	137	33,5

Изоспин и странность частиц, распад которых обусловлен слабым или электромагнитным взаимодействием							
B	S	I	I_3				
			-1	-1/2	0	+1/2	+1
1	0	1/2		n		p	
1	-1	0			Λ		
0	0	1	π^-		π^0		π^+
0	+1	1/2		K^0		K^+	
0	-1	1/2		K^-		\bar{K}^0	
1	-1	1	Σ^-		Σ^0		Σ^+
1	-2	1/2		Ξ^-		Ξ^0	
1	-3	0			Ω^-		
0	0	0			η		

ИЗОСПИН ЯДЕР

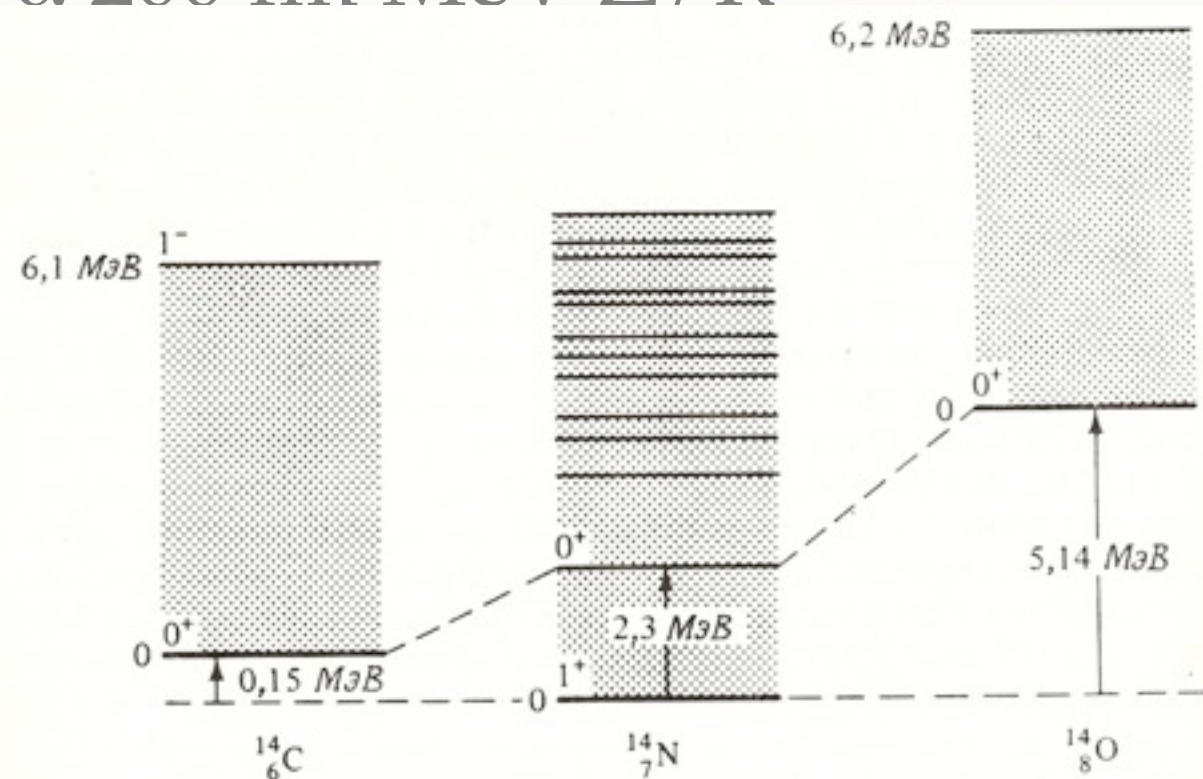
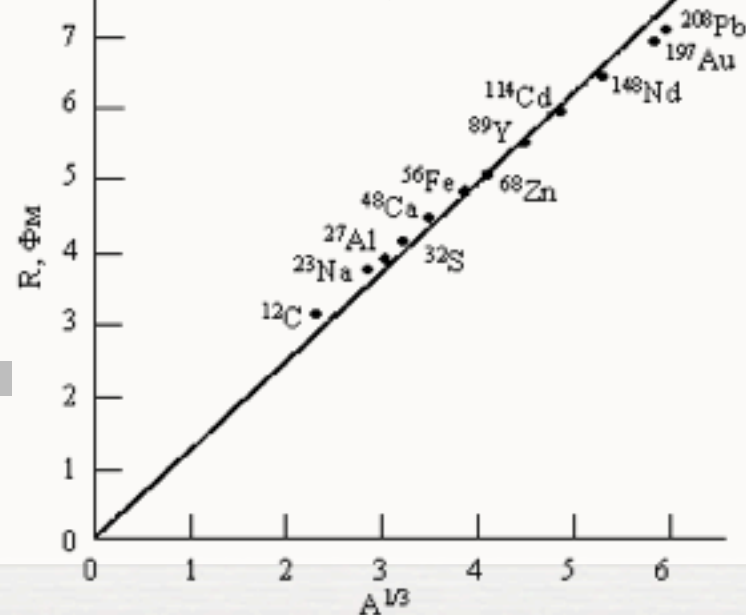
- $Z_e = e(A/2 + I_3); \quad I_3 = Z - A/2 = (Z - N)/2$
- $|Z - N|/2 \leq I \leq A/2; \quad I = 0 \text{ для } Z = N$
- Изобарные ядра A - то же самое
- $\Delta E = E(A, Z+1) - E(A, Z)$
- $\Delta E = \Delta E_C - \Delta m(n-p)$
- $\Delta m(n-p) = 1.3 \text{ MeV}$
- $A=7, \Delta E = 0.86 \text{ MeV (exp), } 0.6 \text{ MeV (calc)}$



ИЗОБАРЫ

- $E_C = 0.6 (Ze)^2 / R$, (кулоновская энергия), $\Delta E_C \rightarrow Z$ и $Z + 1$
- $\Delta E_C = 1.2 e^2 Z / R = 1.2 \alpha 200 \text{ fm MeV } Z / R$
- $\Delta E_C = 3.5 \text{ MeV}$

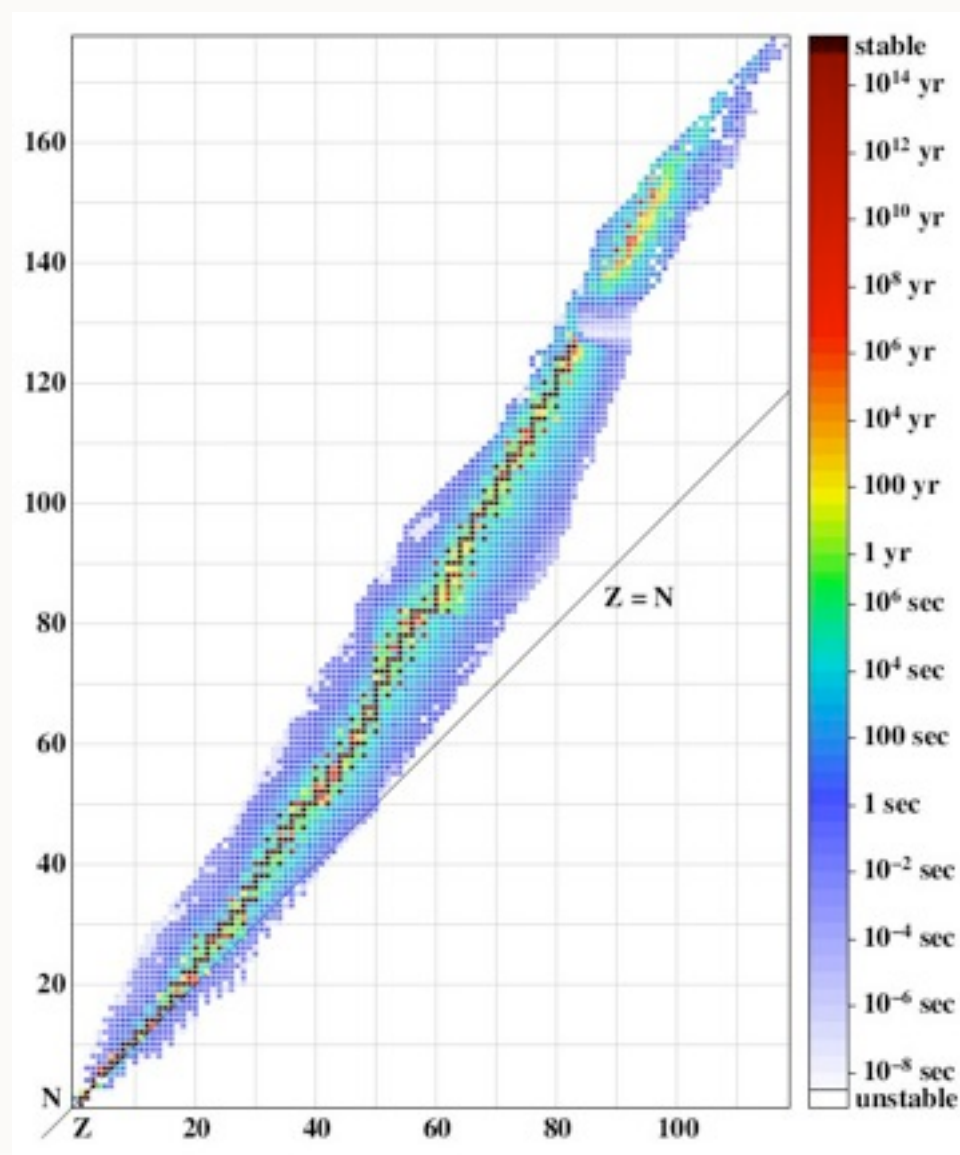
■ $\Delta E = 3.5 - 1.3 = 2.2$



Фиг. 8.5. Спектры энергетических уровней изобарных ядер с $A = 14$. На фигуре указаны спин и четность рассматриваемых уровней, именно: 0^+ , 1^+ , 1^- . Основное состояние ядра ^{14}N является изоспиновым синглетом, а первое возбужденное состояние принадлежит изоспиновому триплету.

ИЗОСПИН ЯДЕР

- $|Z - N| / 2 \leq I \leq A / 2$; $I = 0$ для $Z = N$



ФОРМА ЯДЕР

- $E_{\text{вр}} = \sum J_i^2 / 2R_i = J(J+1) / 2R - E(K)$
- $K = J_3$ (ось симметрии); $J = K, K+1, \dots$
- четно-четные ядра $K = 0$
- Электрический квадрупольный момент ядра
- $eQ = \int \rho(r)(3z^2 - r^2)dV \quad [\text{см}^2]$
- $Q > 0$ - ядро вытянуто
- $Q < 0$ - ядро сплюснуто

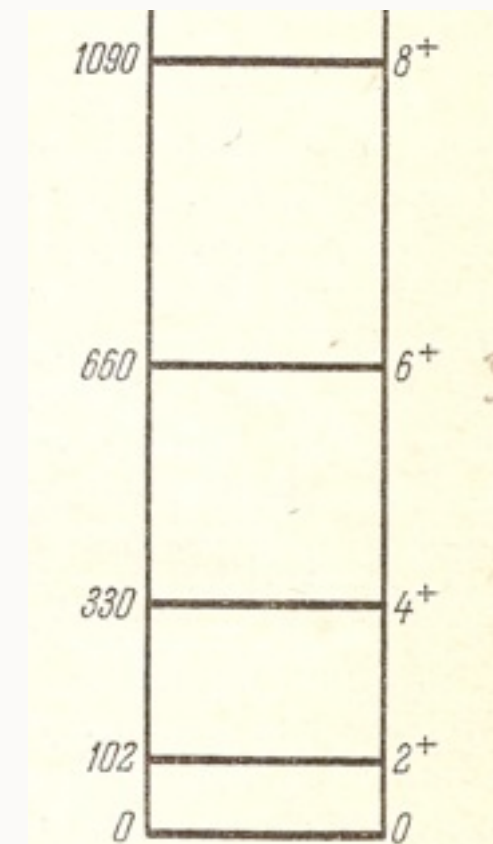
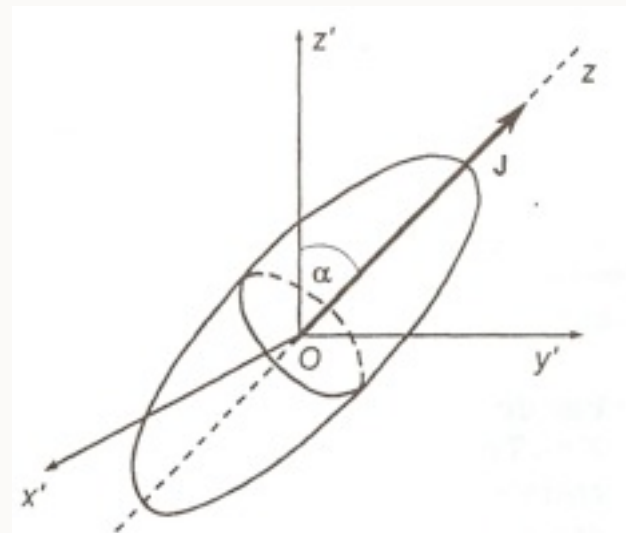


Рис. 2.13. Вращательные уровни ядра ${}_{72}\text{Hf}^{180}$.

Цифры справа — момент количества движения уровня, знак + означает, что четность уровня положительна (см. § 9); цифры слева — энергии уровней в КэВ.

ФОРМА ЯДЕР

- $Q = \{3K^2 - J(J+1)\} / (J+1) / (2J+3) Q_0$
- $Q = J(2J+1) / (J+1) / (2J+3) Q_0$ - для основного сост. $J=K$
- Q - внешний момент (лаб. сис.)
- Q_0 - собственный момент (вр. сис. ядра)
- Q - измерения сверхтон. ст.-ры во внешнем поле
- Q_0 - кулоновское возбуждение ядра зар. частицами

ФОРМА ЯДЕР

Квадрупольные моменты некоторых атомных ядер

Ядро	$Q \cdot 10^{-24} \text{ см}^2$	Ядро	$Q \cdot 10^{-24} \text{ см}^2$	Ядро	$Q \cdot 10^{-24} \text{ см}^2$
$^1_1\text{H}^2$	0,00273	$^{27}_{27}\text{Co}^{59}$	0,404	$^{175}_{71}\text{Lu}^{175}$	5,9
$^{11}_5\text{B}^{11}$	0,0355	$^{63}_{29}\text{Cu}^{63}$	0,16	$^{179}_{72}\text{Hf}^{179}$	3
$^{14}_7\text{N}^{14}$	0,0071	$^{81}_{35}\text{Br}^{81}$	0,28	$^{181}_{73}\text{Ta}^{181}$	6
$^{17}_8\text{O}^{17}$	-0,027	$^{85}_{37}\text{Rb}^{85}$	0,27	$^{204}_{81}\text{Bi}^{204}$	-0,19
$^{27}_{13}\text{Al}^{27}$	0,149	$^{93}_{41}\text{Nb}^{93}$	-0,3	$^{233}_{92}\text{U}^{233}$	3,4
$^{33}_{16}\text{S}^{33}$	-0,064	$^{135}_{56}\text{Ba}^{135}$	0,25	$^{241}_{93}\text{Am}^{241}$	4,9
$^{35}_{16}\text{S}^{35}$	0,045	$^{141}_{59}\text{Pr}^{141}$	-0,054		

- Ядро Ta^{181} - в 17 раз
- мом. для 1 нукл. - R^2
- $R^2(\text{Ta}) = 0.4 \cdot 10^{-24} \text{ см}^2$

