

СИСТЕМАТИКА И СТРУКТУРА ИЗОМЕРНЫХ СОСТОЯНИЙ СФЕРИЧЕСКИХ ЯДЕР

А.М.Кострыгина (СПбГУ),
И.А.Митропольский

История и определение

- **1823 г.** Ю.Либих. Явление изомерии:



гремучее серебро и циановокислое серебро

- **1830 г.** Й.Берцелиус. Термин «изомерия»:
явление, при котором вещества, имеющие одинаковый состав, отличаются по своим свойствам

$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ - этиловый спирт

$\text{CH}_3\text{-O-CH}_3$ - диметиловый эфир

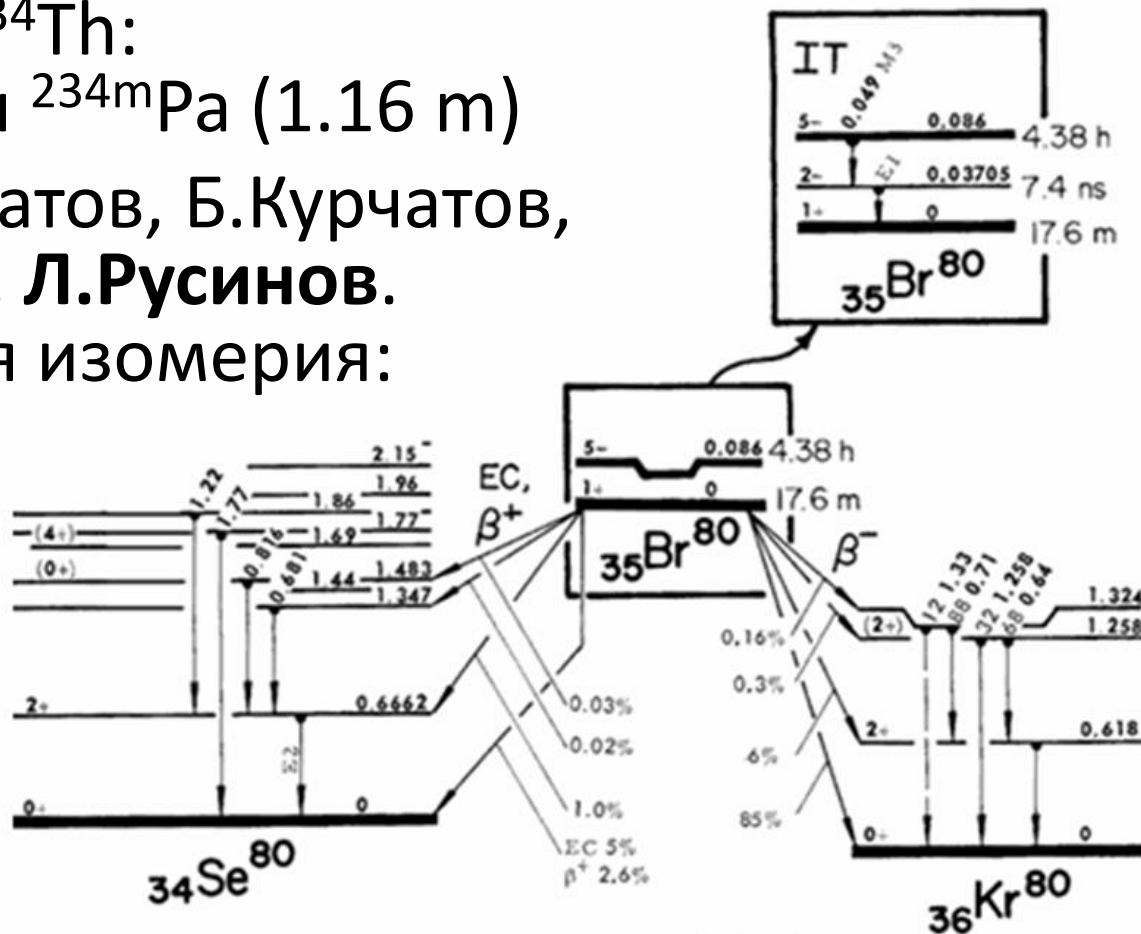
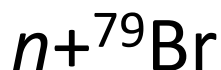
Изомерия атомных ядер

- **1921 г. О.Ган.** Открытие ядерной изомерии:
Бета-распад ^{234}Th :

^{234}Pa (6.70 h) и $^{234\text{m}}\text{Pa}$ (1.16 m)

- **1935 г. И.Курчатов, Б.Курчатов, Л.Мысовский, Л.Русинов.**

Искусственная изомерия:



- **1936 г. К.Вайцзеккер**
Теория ядерной изомерии

$Q_{\beta^-} = 2.01 \text{ MeV}$
 $Q_{EC} = 1.871 \text{ MeV}$

База данных о свойствах ядерных состояний с известным временем жизни

IsoTimeInterface

File Help

Selection of adopted levels

The conditions for selection of nuclides

☐ Nuclides

A
☒ Any
☐ Odd ☐ Even
☐ A=
☐ A>
☐ A<

Z
☒ Any
☐ Odd ☐ Even
☐ Z=
☐ Z>
☐ Z<

N
☒ Any
☐ Odd ☐ Even
☐ N=
☐ N>
☐ N<

The conditions for selection of levels

☐ Momm1 ☐ Mome2

T1/2(second)
☒ T=
☐ T>
☐ T<

E_excitation(keV)
☒ E= 0
☐ E>
☐ E<

Spin
☒ J=
☐ J>
☐ J<

DecayMode
☒ ECP
☐ ECA
☒ A
☐ IT
☐ P
☐ 2P

ExcitationType
☒ HI,XNG
☐ N,*
☐ N,G
☐ N,P
☐ A,*
☐ P,*
☐ D,*
☐ T,*

Query

Where Nuclides All
 Where Levels Eexc(keV) = 0 DecayMode A ExcitationType
 FOUND 644 LEVELS FOR 644 NUCLIDES!

Preview Text Query

Found

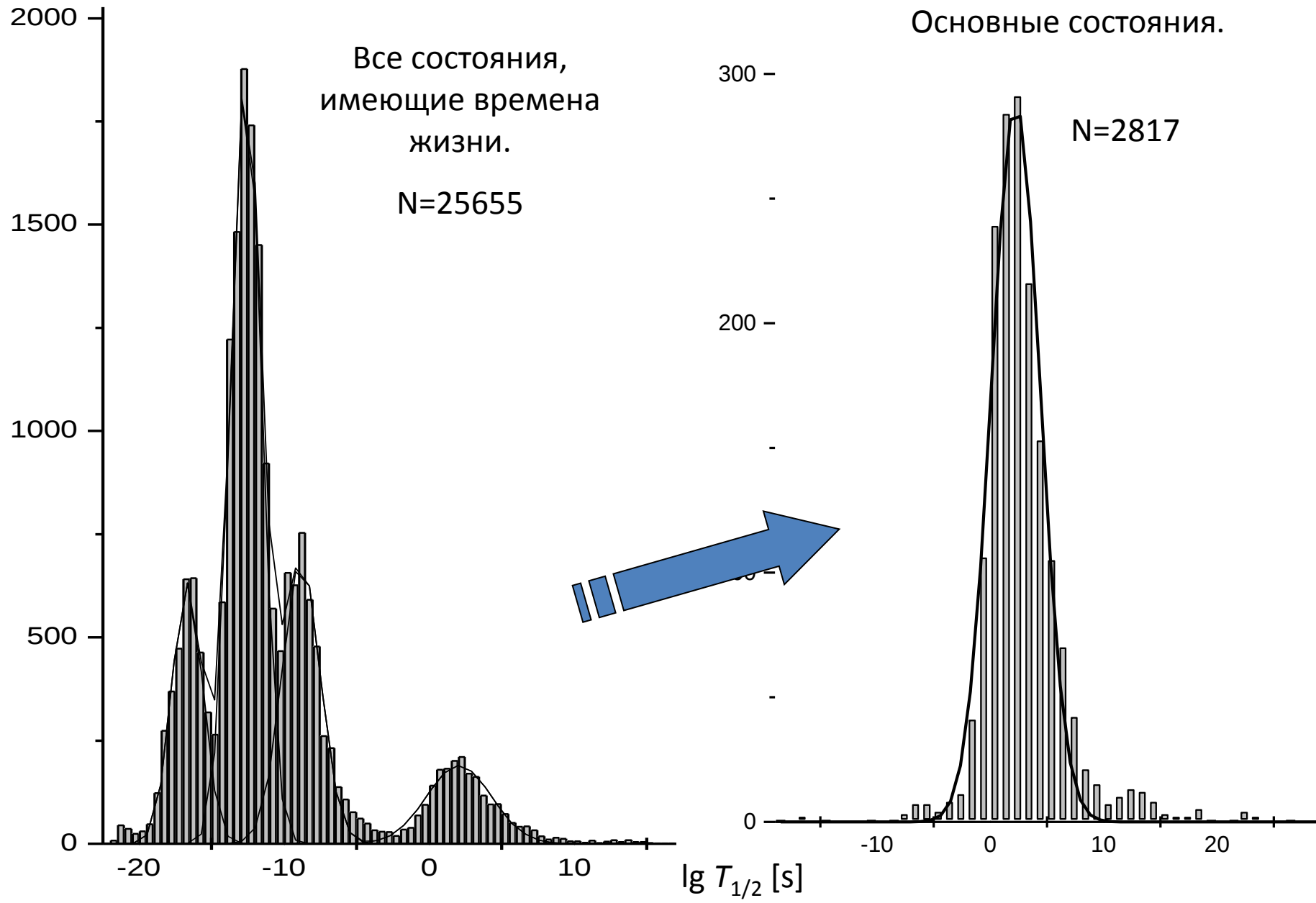
Additional parameter of checked level

GammaDecay from checked level

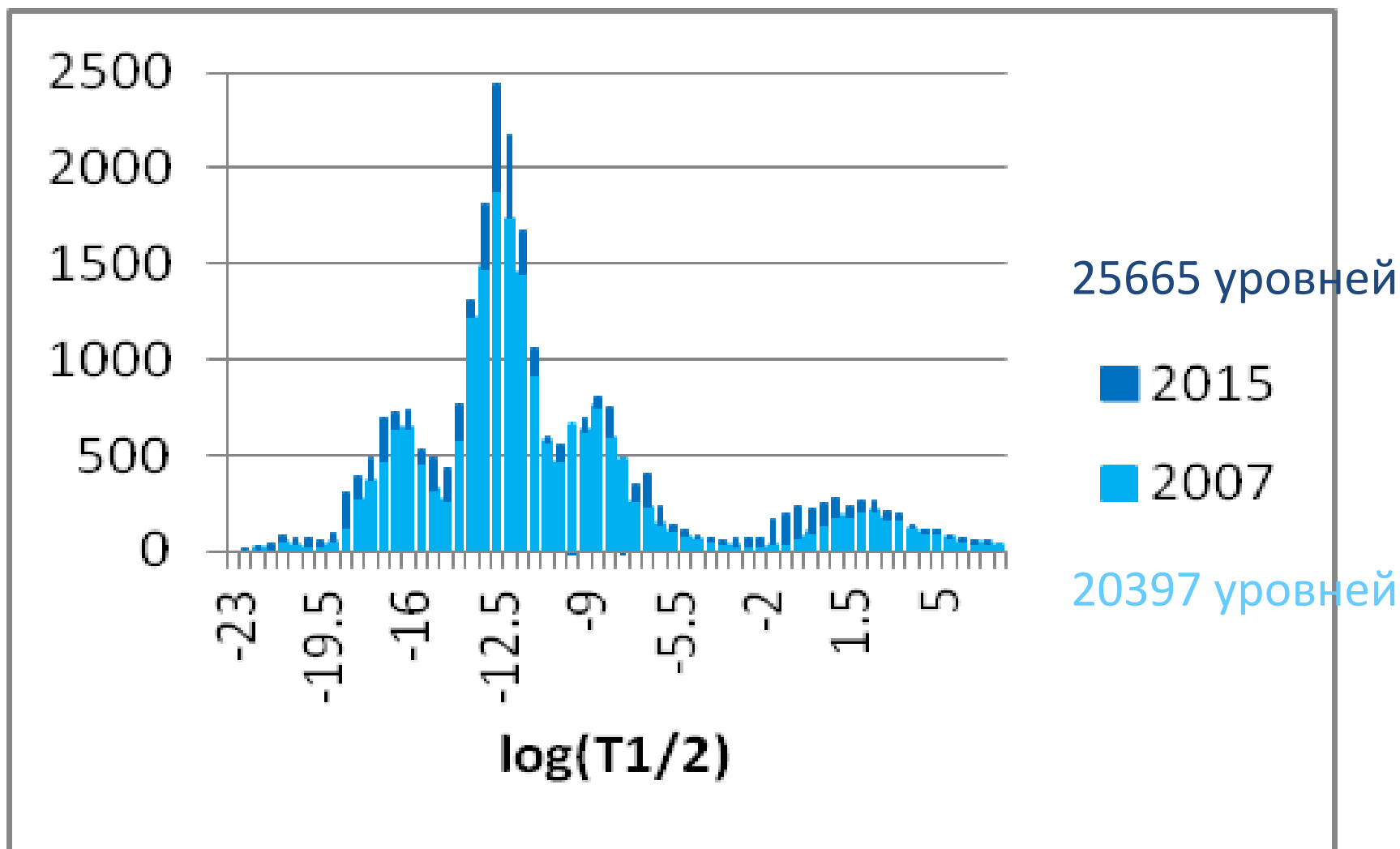
A	Z	Nucid	E	DE	JPI	T	DT	XREF	Decay Mode	Momm1	D...	Mome2	D...
☐ 146	62	146SM	0.0		0+	10.3E...	8	ABCDOKQMNPL	%A=100%				
☐ 147	62	147SM	0.0		7/2-	1.060...	11	ABDEFGHIJLMN	%A=100%	-0.8148	7	-0.261	7
☐ 147	63	147EU	0.0		5/2+	24.1 D	6	ABCDG	%A=0.0022 6%EC...	+3.724	8	+0.55	3
☐ 148	62	148SM	0.0		0+	7E+15 Y	3	-(T)	%A=100%				
☐ 148	64	148GD	0.0		0+	71.1 Y	12	ABCDE	%A=100%				
☐ 148	63	148EU	0.0		5-	54.5 D	5	ABCE	%A=9.4E-7 28 (1...	+2.340	10	+0.35	6
☐ 149	64	149GD	0.0		7/2-	9.28 D	10	ABCDE	%EC+%B+=100%*A=...	0.88	4		
☐ 149	65	149TB	0.0		1/2+	4.118 H	25	ADE	%EC+%B+=83.3 17...	+1.35	2		
☐ 150	64	150GD	0.0		0+	1.79E...	8	ABCDEGHIJ	%A=100%				
☐ 150	65	150TB	0		(2)-	3.48 H	16	ABCD	%EC+%B+=100%*A<...				
☐ 150	66	150DY	0		0+	7.17 M	5	ABCDEFHG	%EC+%B+=64 5%*A...				
☐ 151	63	151EU	0.0		5/2+	1.7E+...	GE	+	%A=?%	+3.4717	6	+0.903	10
☐ 151	64	151GD	0.0		7/2-	123.9 D	10	DE	%EC=100%*A 3D 0	0.77	6		

FOUND 644 LEVELS FOR 644 NUCLIDES

Распределение ядерных времен жизни



Динамика новых данных по временам жизни

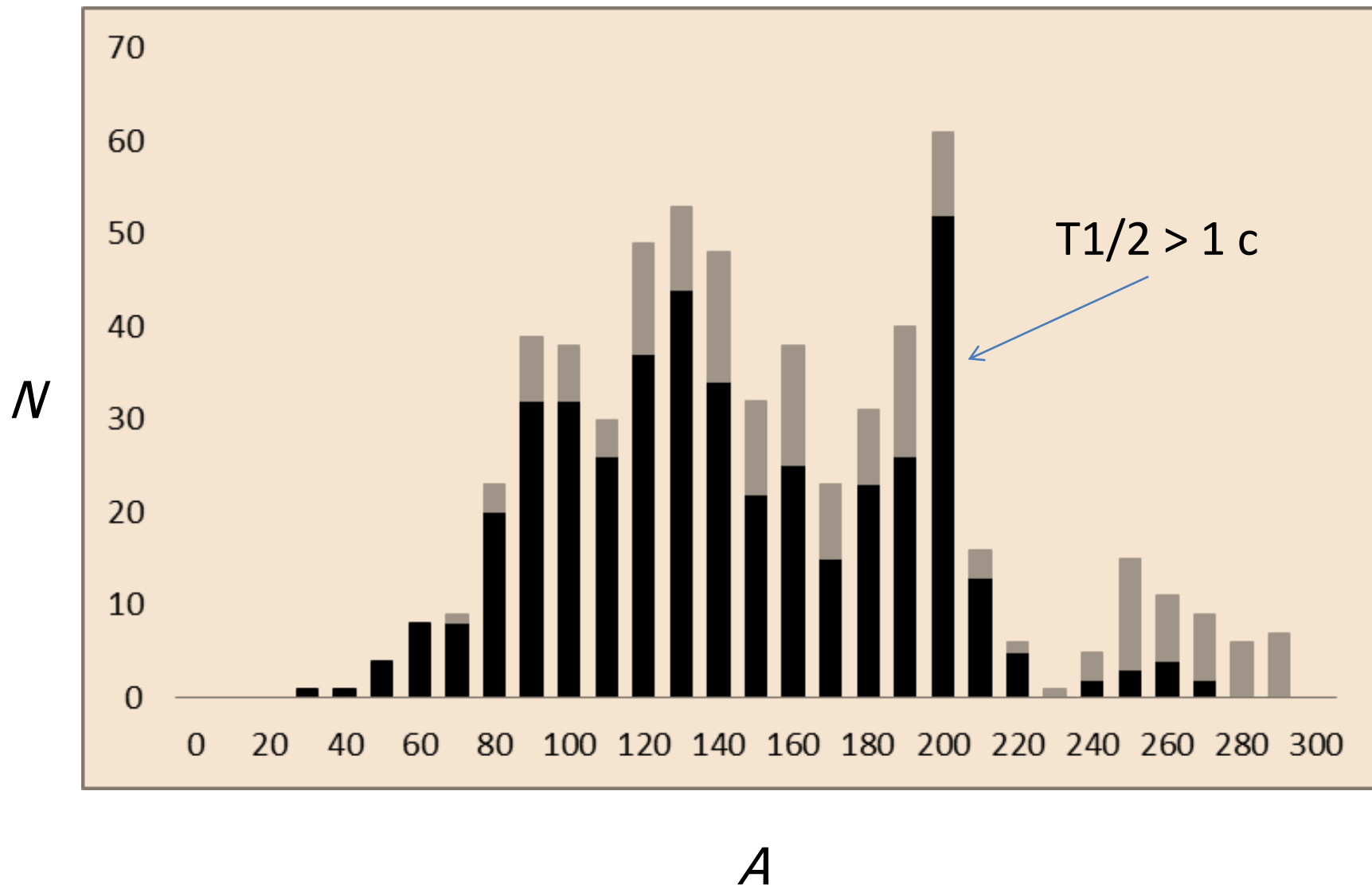


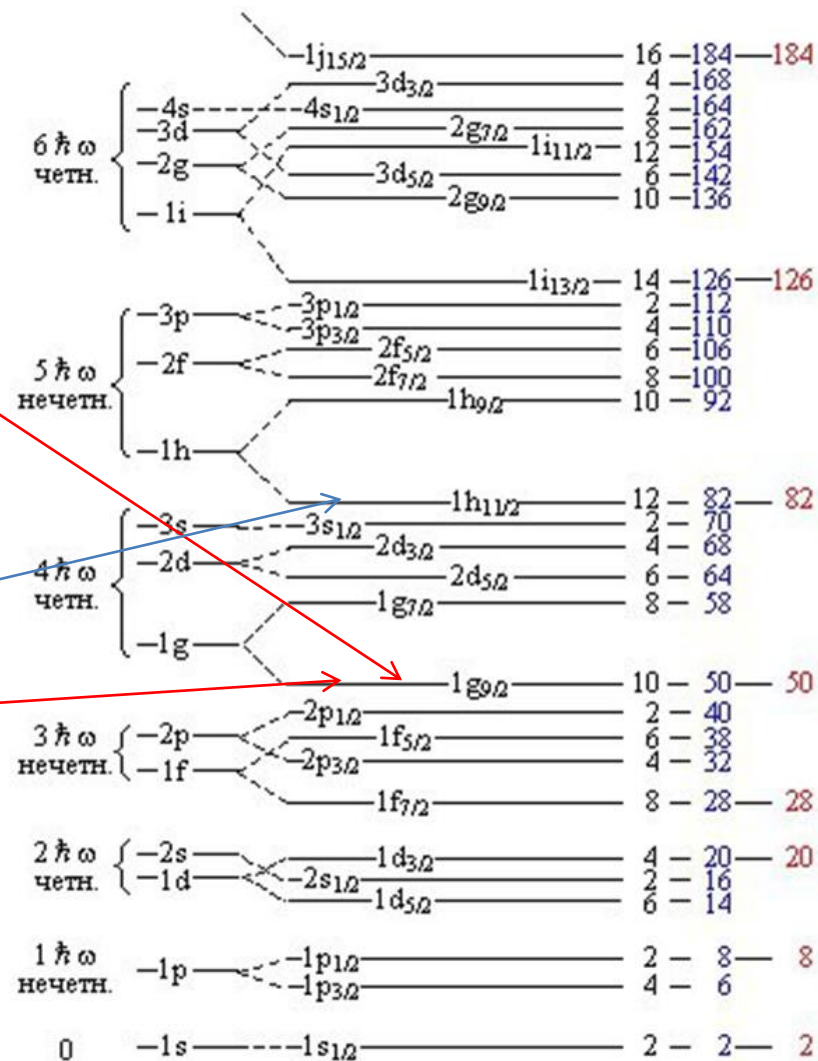
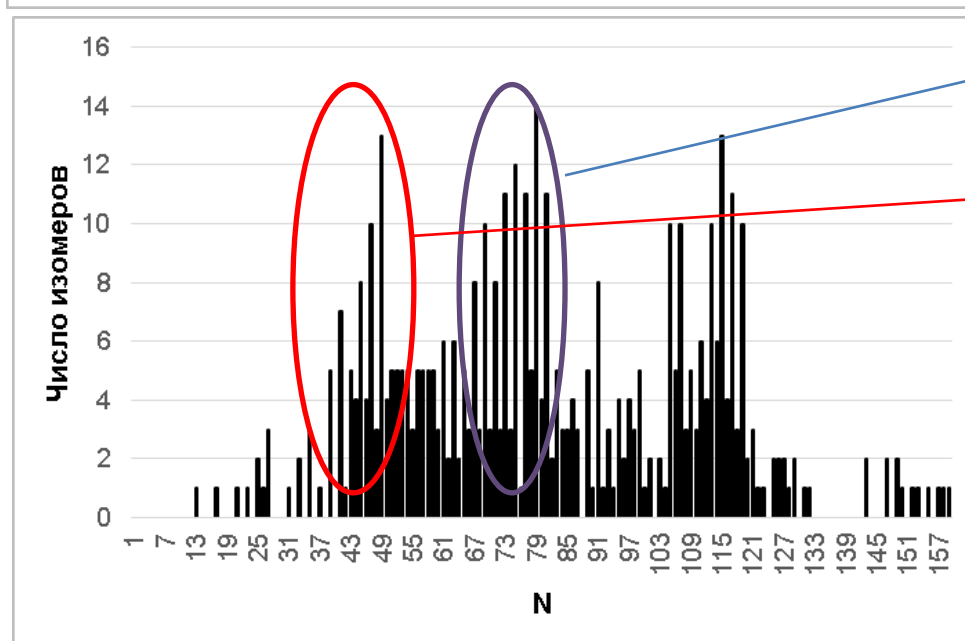
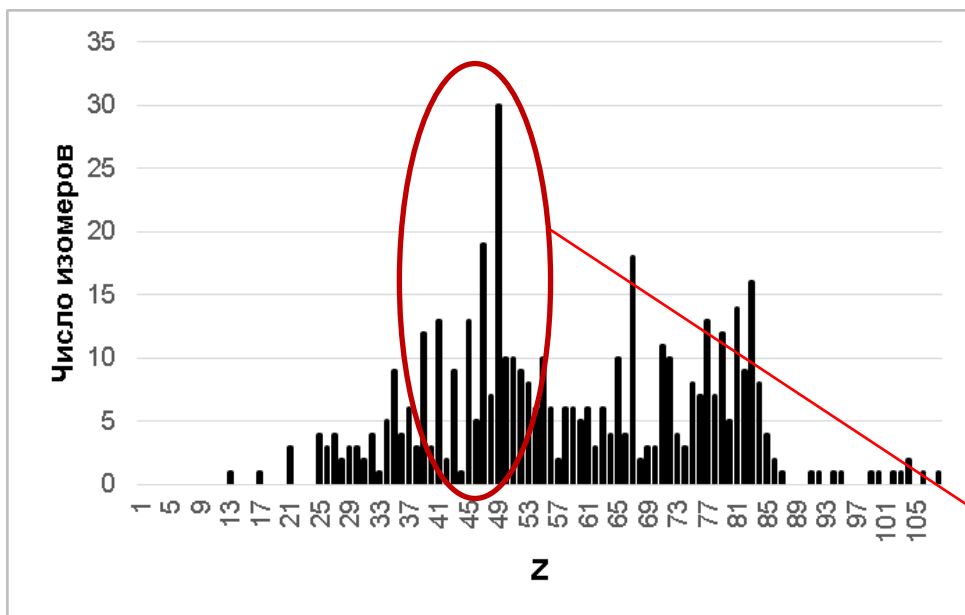
Времена жизни изомеров

Изомер – возбуждённое состояние ядра с «аномально» большим временем жизни

Время жизни	Число состояний	Число нуклидов
$T_{1/2} > 1 \text{ с}$	603	548
$T_{1/2} > 10^{-3} \text{ с}$	857	744
$T_{1/2} > 10^{-6} \text{ с}$	1278	1007

Систематика изомеров с $T_{1/2} > 1$ мс





Свойства «протонных» изомеров

Нуклид	Z	Иπ (0)	Иπ (E)	Хλ	E, кэВ	T _{1/2} , с	DM
77Br	35	3/2-	9/2+	E3	105.86	256.8	IT
79Br	35	3/2-	9/2+	E3	207.61	4.85	IT
81Rb	37	3/2-	9/2+	E3	86.31	1.83E3	IT97.6%, EC2.4%
85Y	39	(1/2-)	9/2+	M4	19.68	1.75E4	EC, IT<2·10-3%
87Y	39	1/2-	9/2+	M4	380.82	4.81E4	IT98.43%, EC1.57%
89Y	39	1/2-	9/2+	M4	908.97	15.663	IT
91Y	39	1/2-	9/2+	M4	555.58	2.98E3	β-<1.5%, IT
93Y	39	1/2-	9/2+	M4	758.72	0.82	IT
97Y	39	(1/2-)	(9/2+)	M4	667.52	1.17	β->99.3%, IT<0.7%
91Nb	41	9/2+	1/2-	M4	104.6	5.25E6	IT96.6%, EC3.4%
93Nb	41	9/2+	1/2-	M4	30.77	5.09E8	IT
95Nb	41	9/2+	1/2-	M4	235.69	3.12E5	IT94.4%, β-5.6%
97Nb	41	9/2+	1/2-	M4	743.35	58.7	IT
99Nb	41	9/2+	1/2-	M4	365.27	150	β->96.2%, IT<3.8%

Вероятности изомерных переходов

$$W_{fi}(X\lambda) = \frac{8\pi}{\hbar} \frac{\lambda + 1}{\lambda[(2\lambda + 1)!!]^2} \left(\frac{E_\gamma}{\hbar c} \right)^{2\lambda+1} B(X\lambda)$$

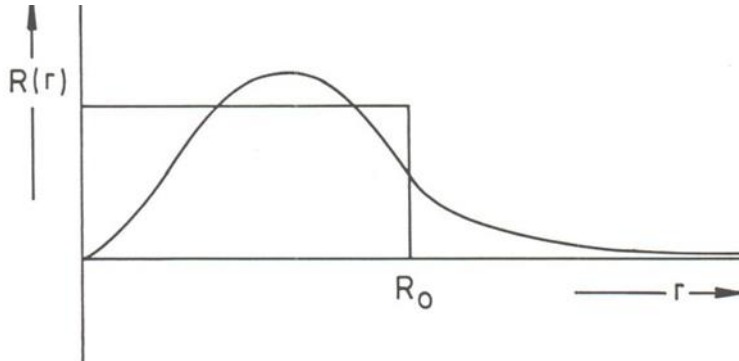
Здесь $E_\gamma = E_i - E_f$ энергия перехода, а приведенная вероятность

$$X = E: \quad B(E\lambda) = \sum_{\mu, m_f} \left| \langle f | \int \rho r^\lambda Y_{\lambda\mu} d^3r | i \rangle \right|^2$$

$$X = M: \quad B(M\lambda) = \sum_{\mu, m_f} \left| \langle f | \frac{-i}{c(\lambda+1)} \int r^\lambda (\mathbf{r} \times \nabla Y_{\lambda\mu} \cdot \mathbf{j}) d^3r | i \rangle \right|^2$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{W}$$

Одночастичные оценки



$$\langle r^\lambda \rangle \approx \frac{3}{\lambda + 3} R_0^\lambda$$

$$B_W(E\lambda) \approx \frac{e^2}{4\pi} \left(\frac{3}{3 + \lambda} \right)^2 R_0^{2\lambda}$$

$$B_W(M\lambda) \approx \frac{10}{\pi} \mu_N^2 \left(\frac{3}{3 + \lambda} \right)^2 R_0^{2\lambda-2}$$

$$R_0 = r_0 \cdot A^{1/3}$$

$$r_0 = 1.2 \text{ фм}$$

Времена жизни

$$T = \frac{\ln 2}{W}$$

$$\lg T = \lg(\ln 2) - \lg W$$

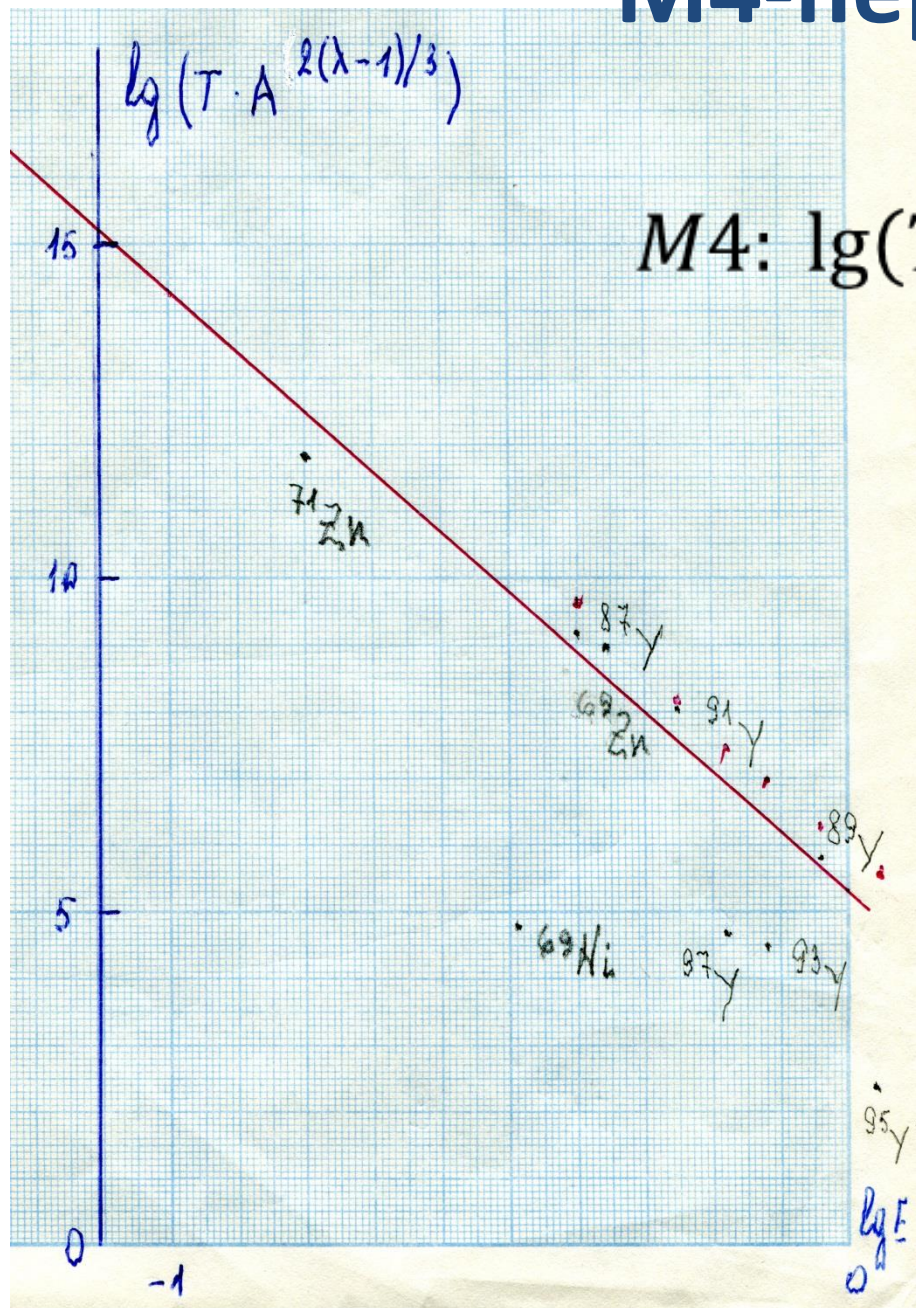
$$E\lambda: W = C(E\lambda) \cdot E^{2\lambda+1} \cdot A^{2\lambda/3}$$

$$\lg(T \cdot A^{2\lambda/3}) = \lg \frac{\ln 2}{C(E\lambda)} - (2\lambda + 1)\lg E$$

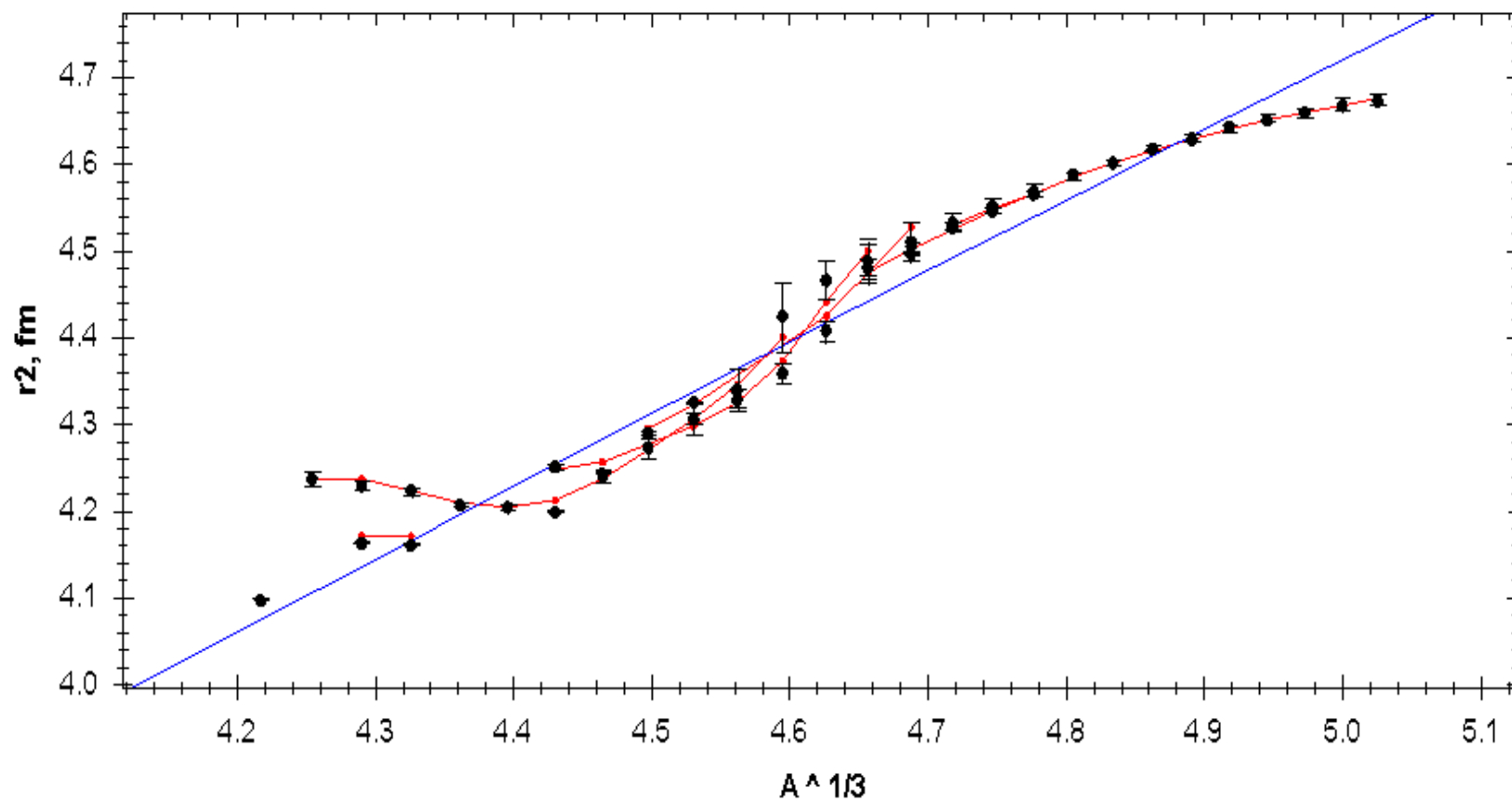
$$M\lambda: W = C(M\lambda) \cdot E^{2\lambda+1} \cdot A^{(2\lambda-1)/3}$$

$$\lg(T \cdot A^{2(\lambda-1)/3}) = \lg \frac{\ln 2}{C(M\lambda)} - (2\lambda + 1)\lg E$$

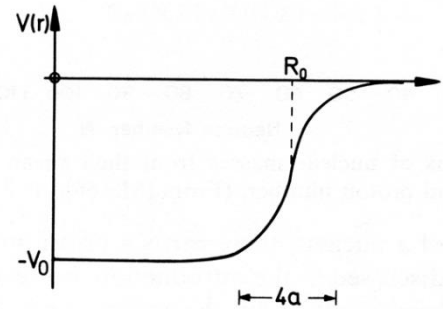
M4-переходы



Радиусы ядер, NuRa

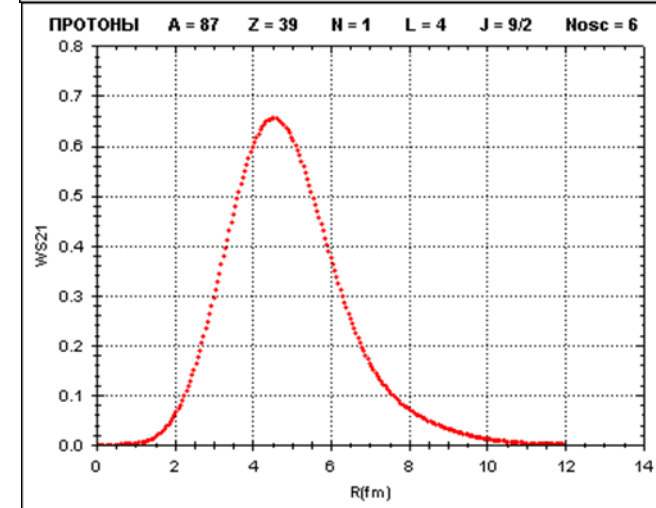
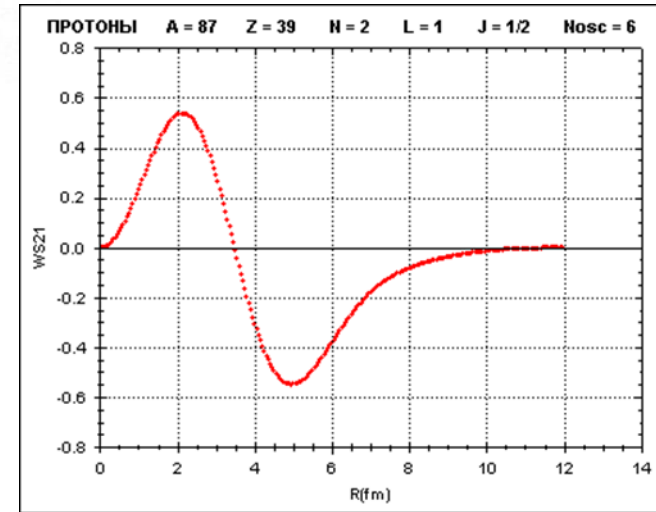
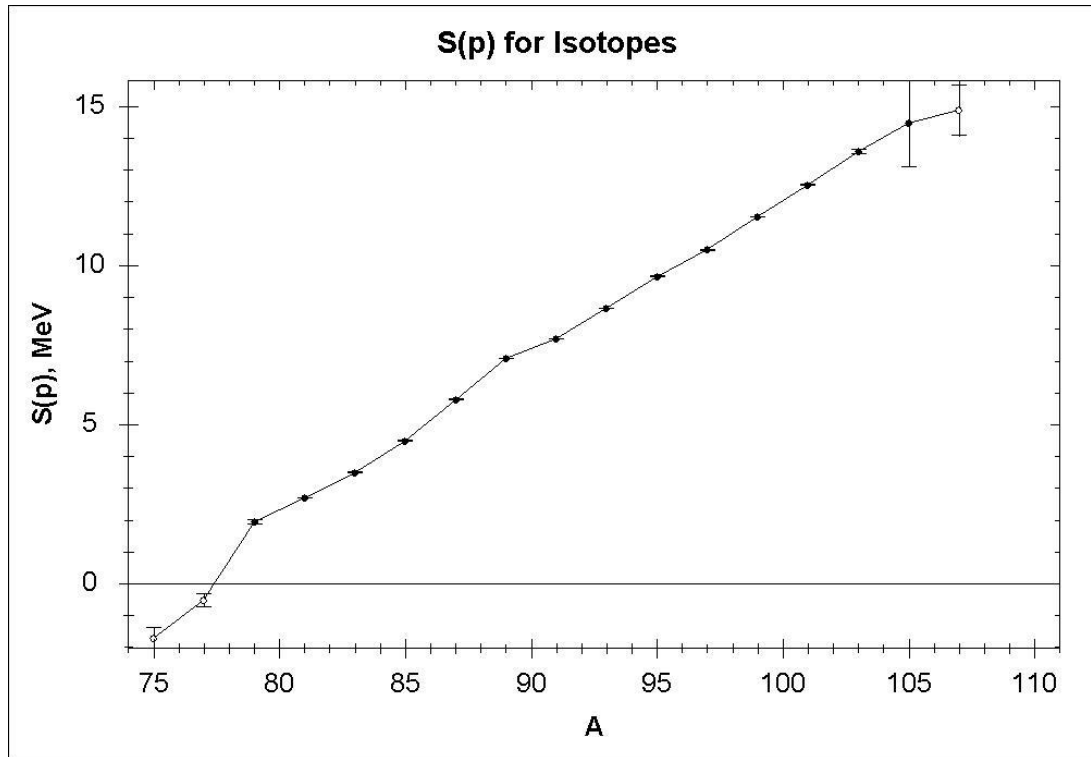


Потенциал Вудса-Саксона

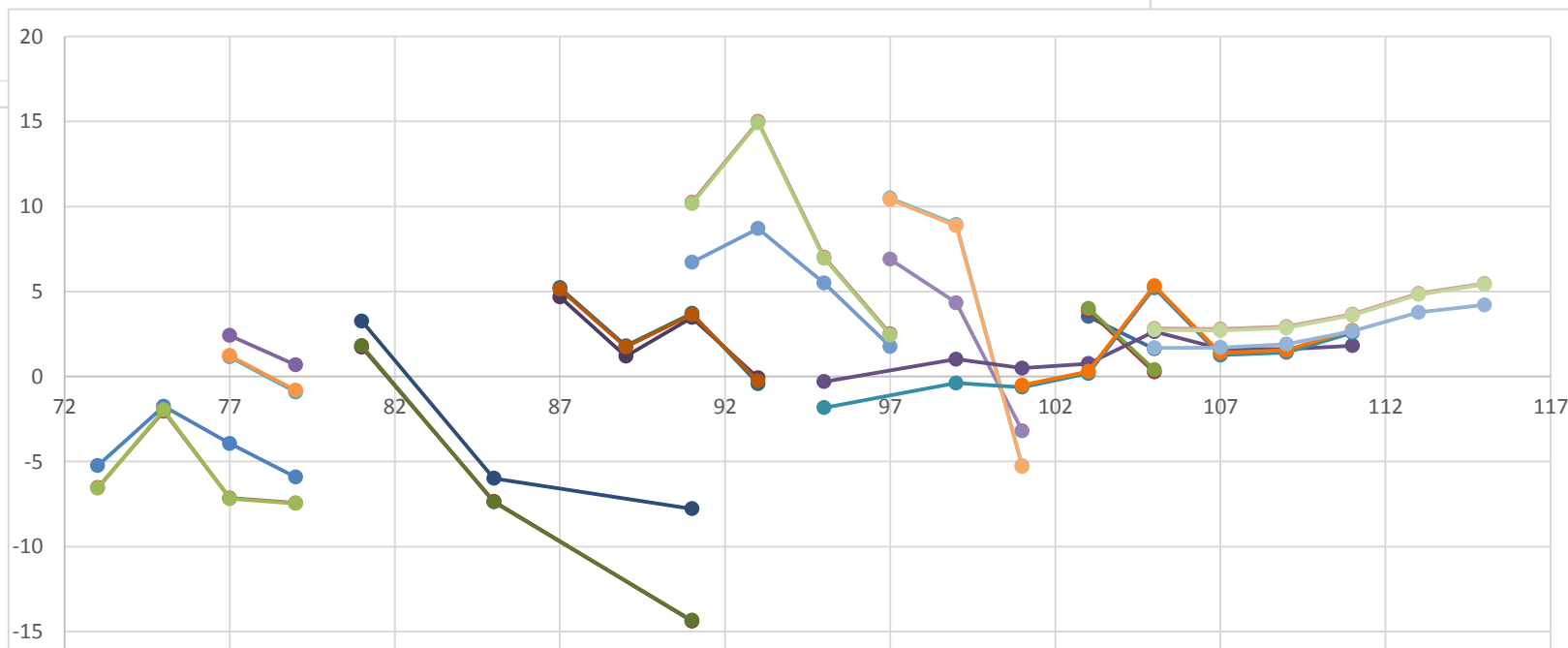


$$V(r) = -V_0 \left[1 + \exp\left(\frac{r - R_0}{a}\right) \right]^{-1}$$

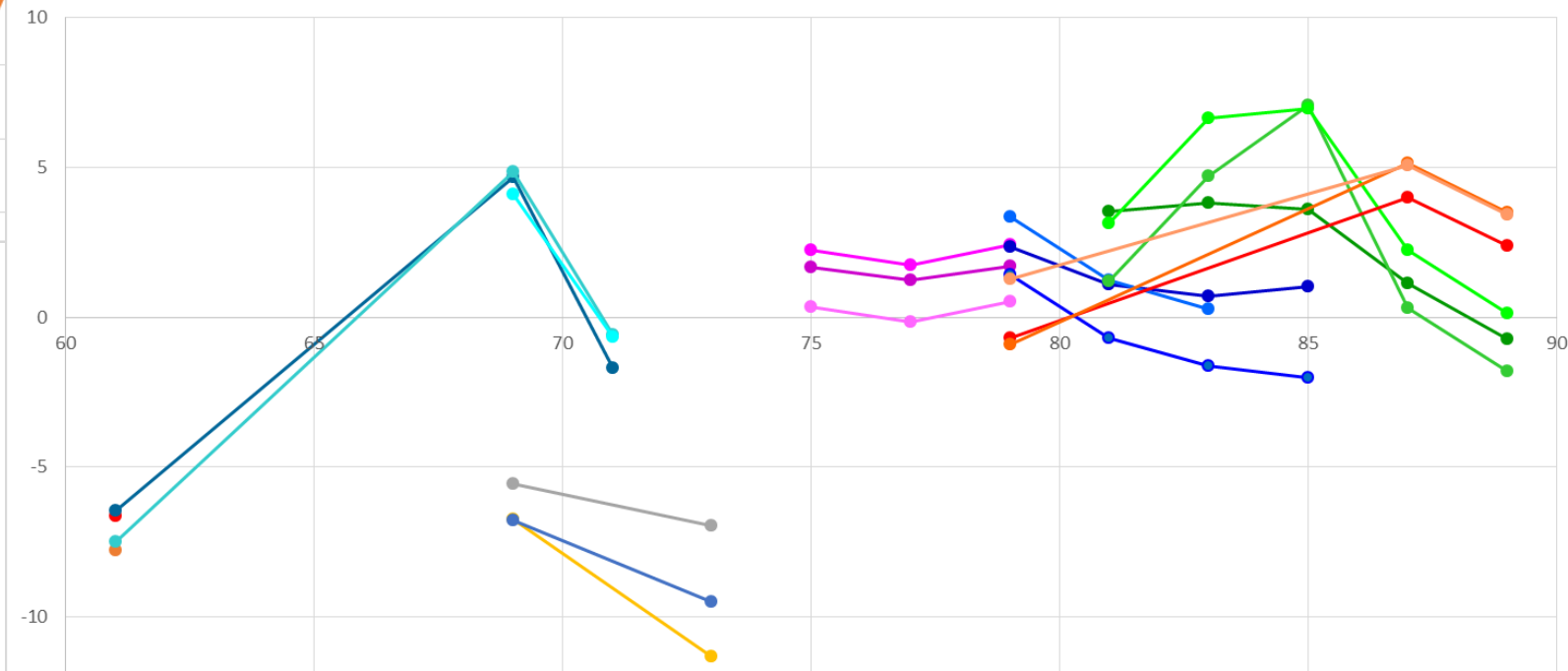
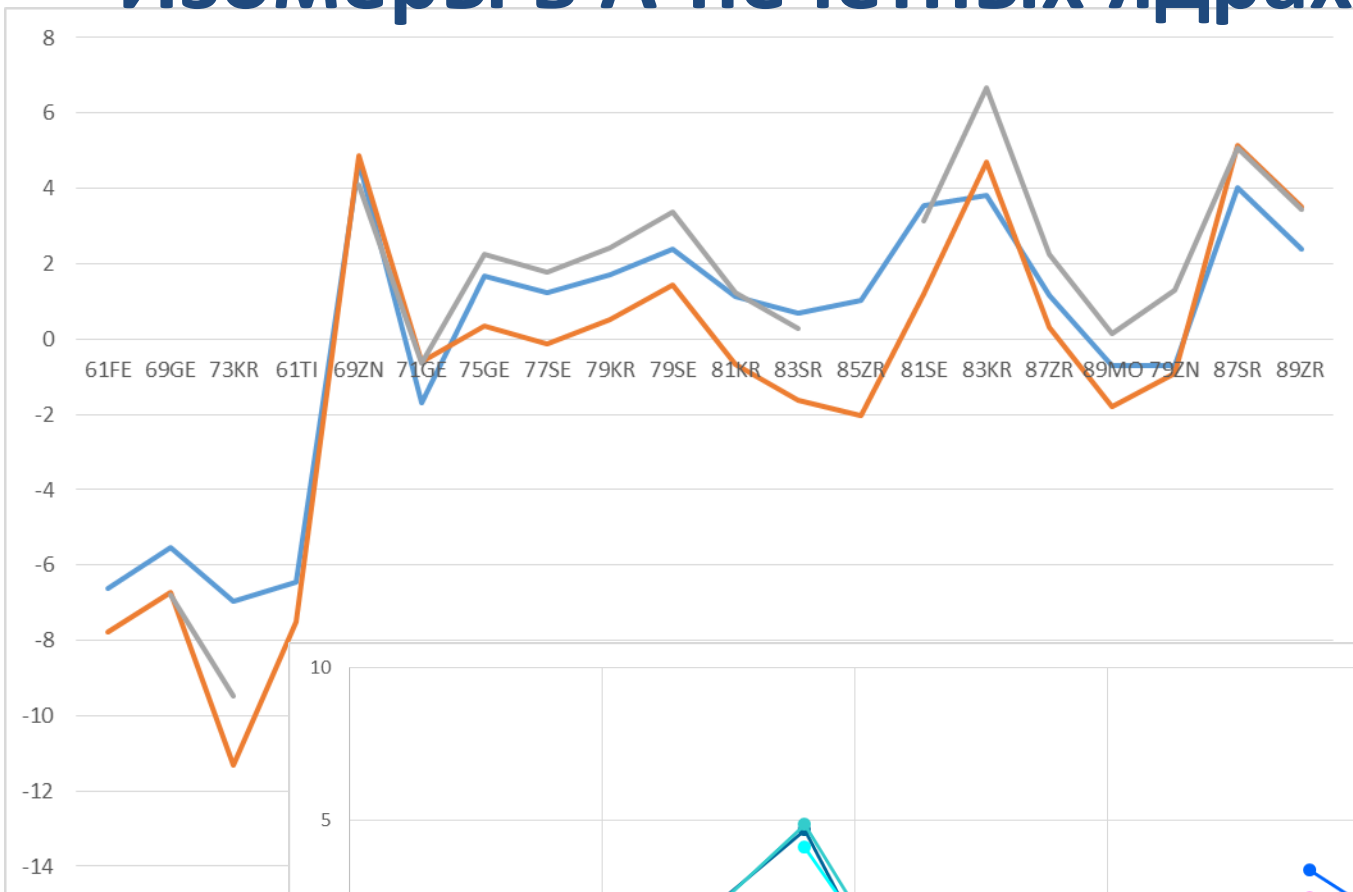
$$R_0 = r_0 A^{1/3}, \quad V_0 \approx 50 \text{ МэВ}, \quad a \approx 0.5 \text{ фМ}, \quad r_0 \approx 1.2 \text{ фМ}$$



Изомеры в A-нечетных ядрах с Z=33-49



Изомеры в А-нечетных ядрах с N=35-49



Заключение

- Основной вывод проведенной систематики состоит в том, что рассмотренные изомерные состояния в сферических ядрах имеют одночастичную природу.
- Подгонка ядерных радиусов практически не влияет на время жизни изомеров.
- У более легких ядер нет высокоспиновых одночастичных орбиталей; изомерия наблюдается только в нечетно-нечетных ядрах и связана с «высокоспиновыми» состояниями, возникающими при сложении моментов нечетных нуклонов.
- Для более тяжелых сферических ядер область изомеров определяется орбиталью $1h_{11/2}$.
- Ассиметричное заполнение оболочек ($Z < N$) способствует появлению деформации, и природа изомерии связана уже не со спином, а с « K -запретом».

Спасибо за внимание!

Mitropolsky_IA@pnpi.nrcki.ru