

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЯДЕРНЫХ ИЗОМЕРОВ. К 100-летию открытия

И.А.Митропольский

Петербургский институт ядерной физики
им.Б.П.Константинова
НИЦ «Курчатовский институт»

История и определение

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



гремучее серебро и циановокислое серебро

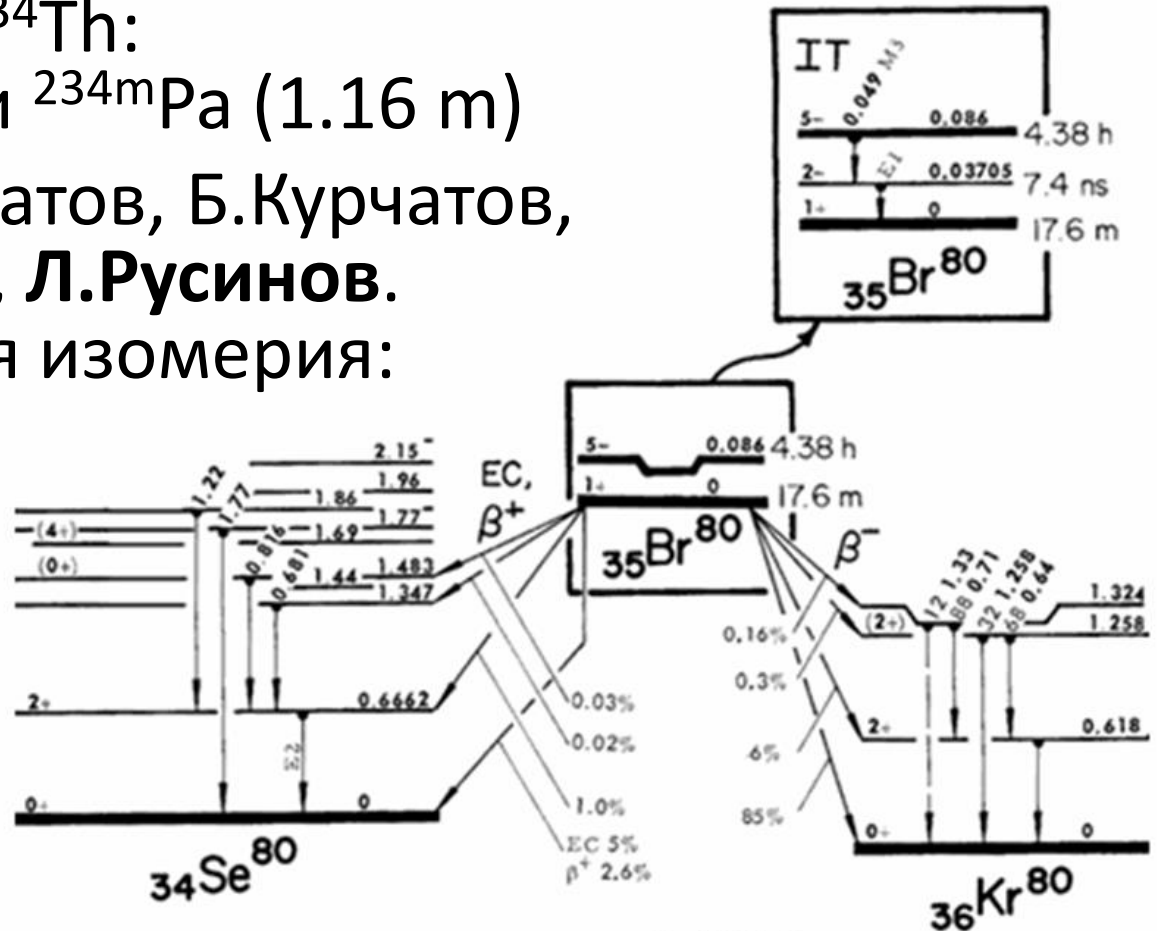
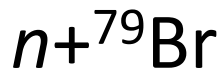
- **1830 г.** Й.Берцелиус. Термин «изомерия»: **явление, при котором вещества, имеющие одинаковый состав, отличаются по своим свойствам**

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

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

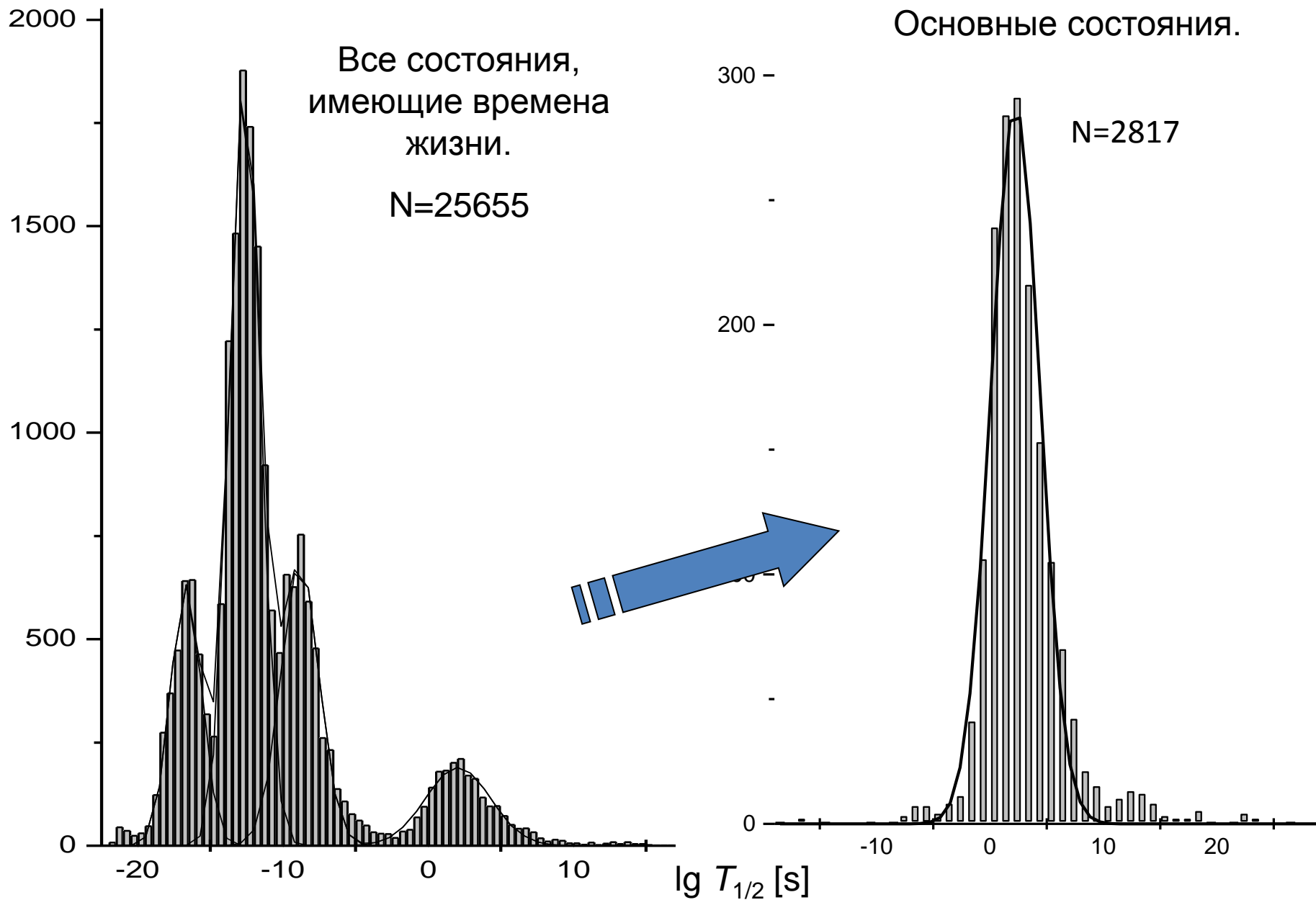
Изомерия атомных ядер

- **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:

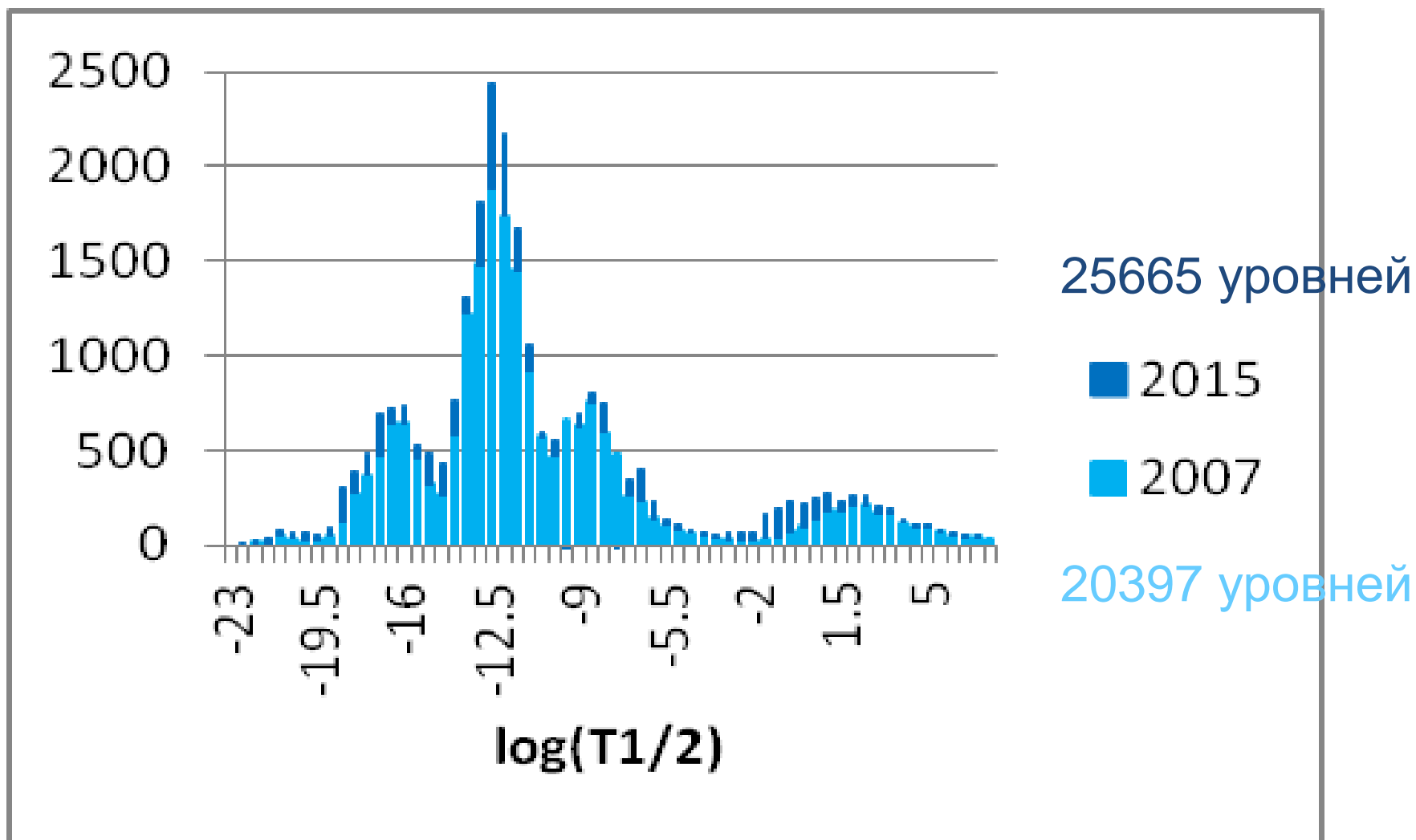


- **1936 г.** К.Вайцзеккер
Теория ядерной изомерии

Распределение ядерных времен жизни



Динамика новых данных по временам жизни

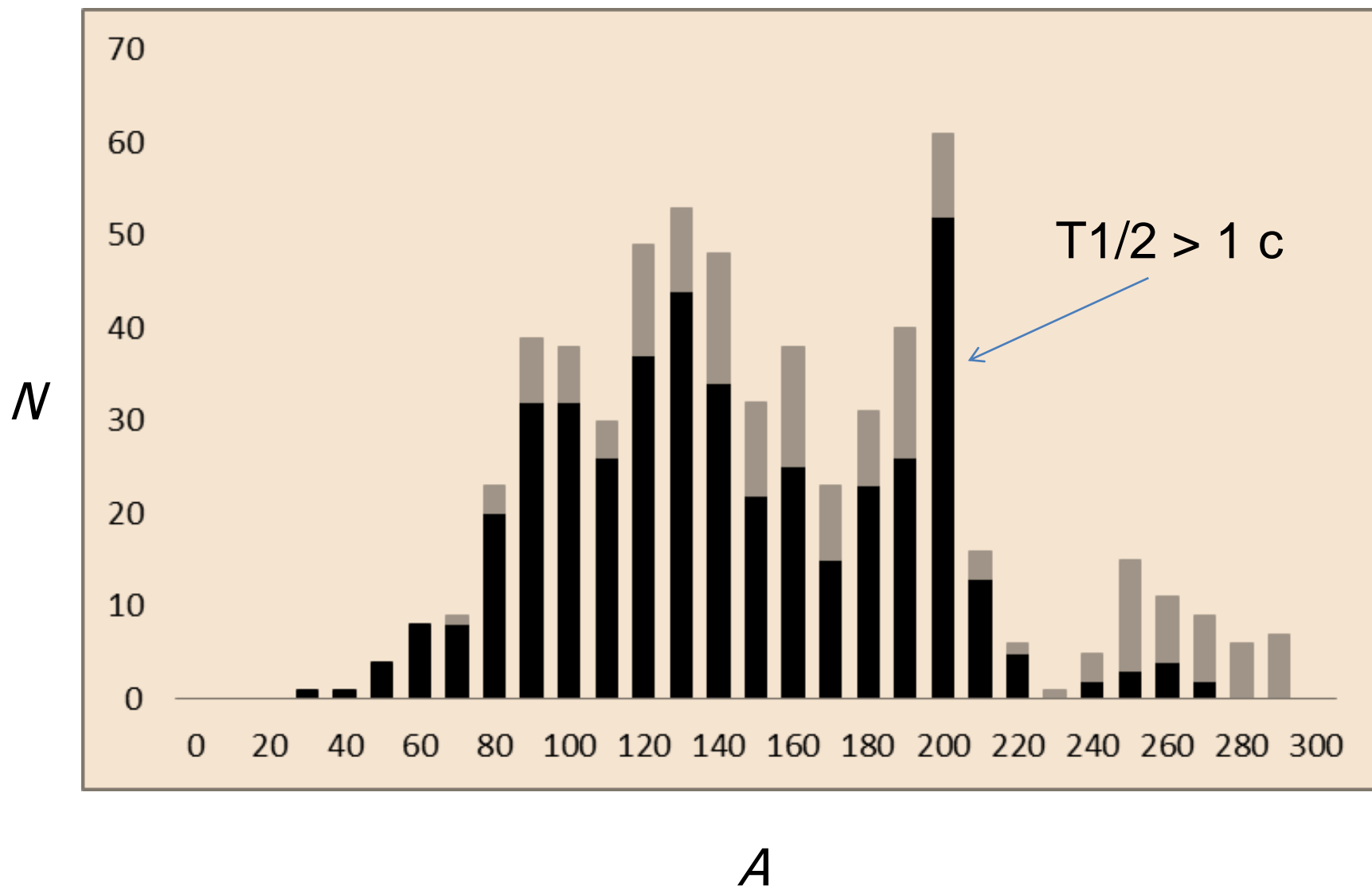


Времена жизни изомеров

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 по A



Распределение изомеров по спину

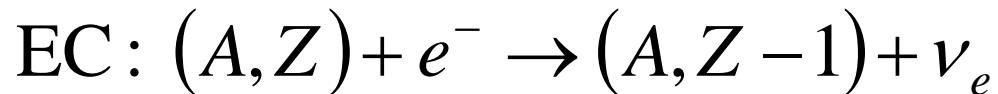
Спин	Число изомеров	Число нуклидов
0	10	10
1/2	93	93
1	22	22
3/2	10	10
2	28	28
5/2	1	1
3	18	18
7/2	25	25
4	17	17
9/2	28	28
>11/2	189	181

Атлас ядерных изомеров

Нуклид	E , кэВ	J^π	$T_{1/2}$	Распад	E_γ , кэВ	I_γ , %	XL
180Ta	0	1+	8.154 h	B- EC	-	15 85	-
	77	9-	>7E+15 y	-	-	-	-
186Re	0	1-	3.72 d	B- EC	-	92.5 7.4	-
	149	8+	2.0E+5 y	IT	50		E5
210Bi	0	1-	5.01 d	B- A	-	100 1.3E-4	-
	271	9-	3.0E+6 y	A	-	100	-
241Am	0	5/2-	432.6 y	A SF	-	100 3.6E-10	-
	2200		1.2 us	SF		100	

Моды распада изомеров

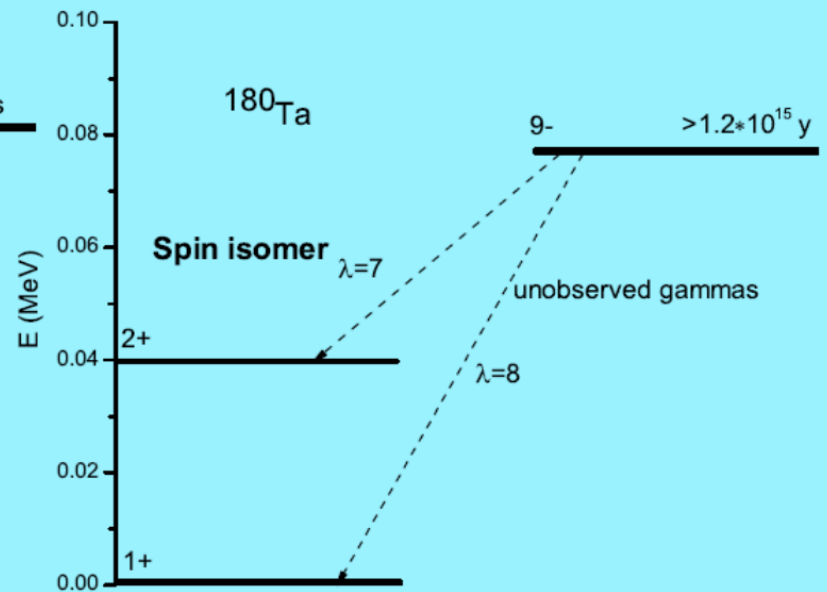
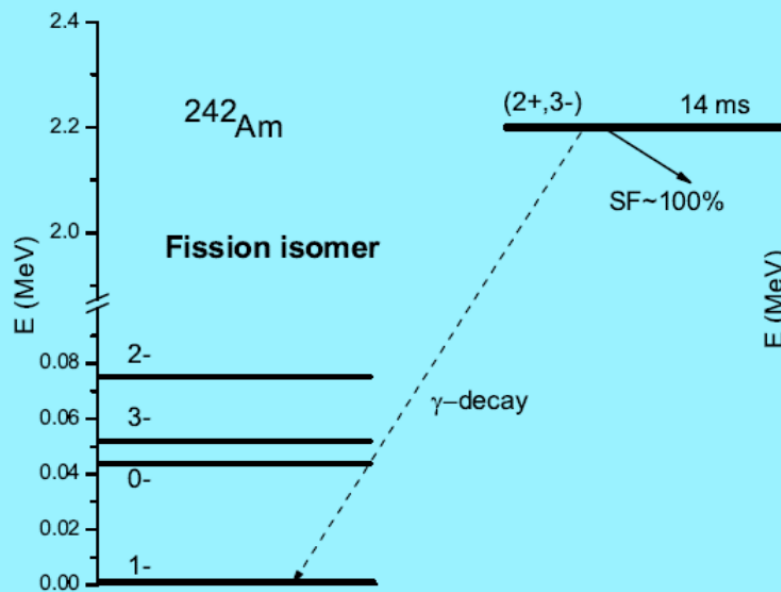
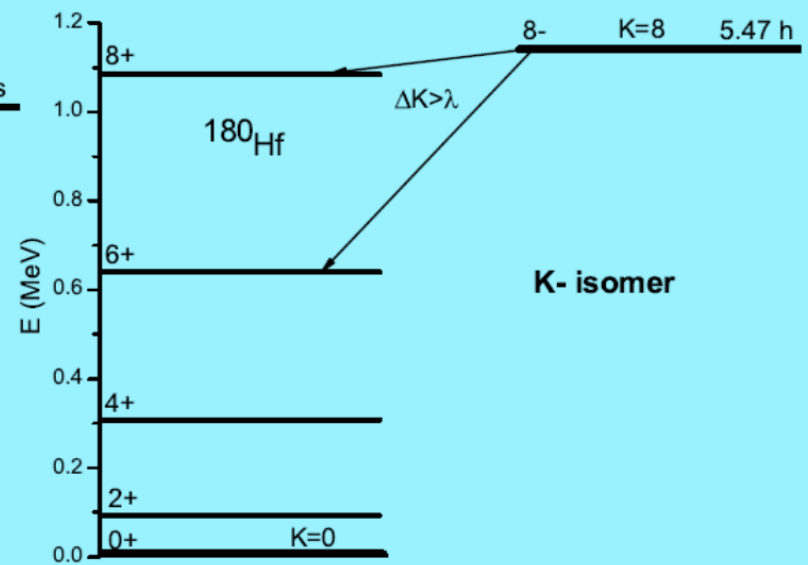
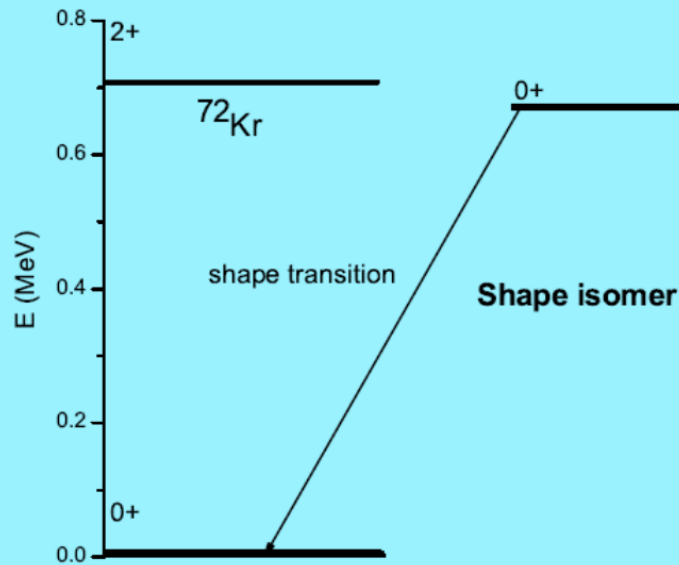
Мода распада	Число изомеров	Число нуклидов
B-	158	147
B+	265	243
EC	292	268
A	93	89
IT	363	344
SF	21	20



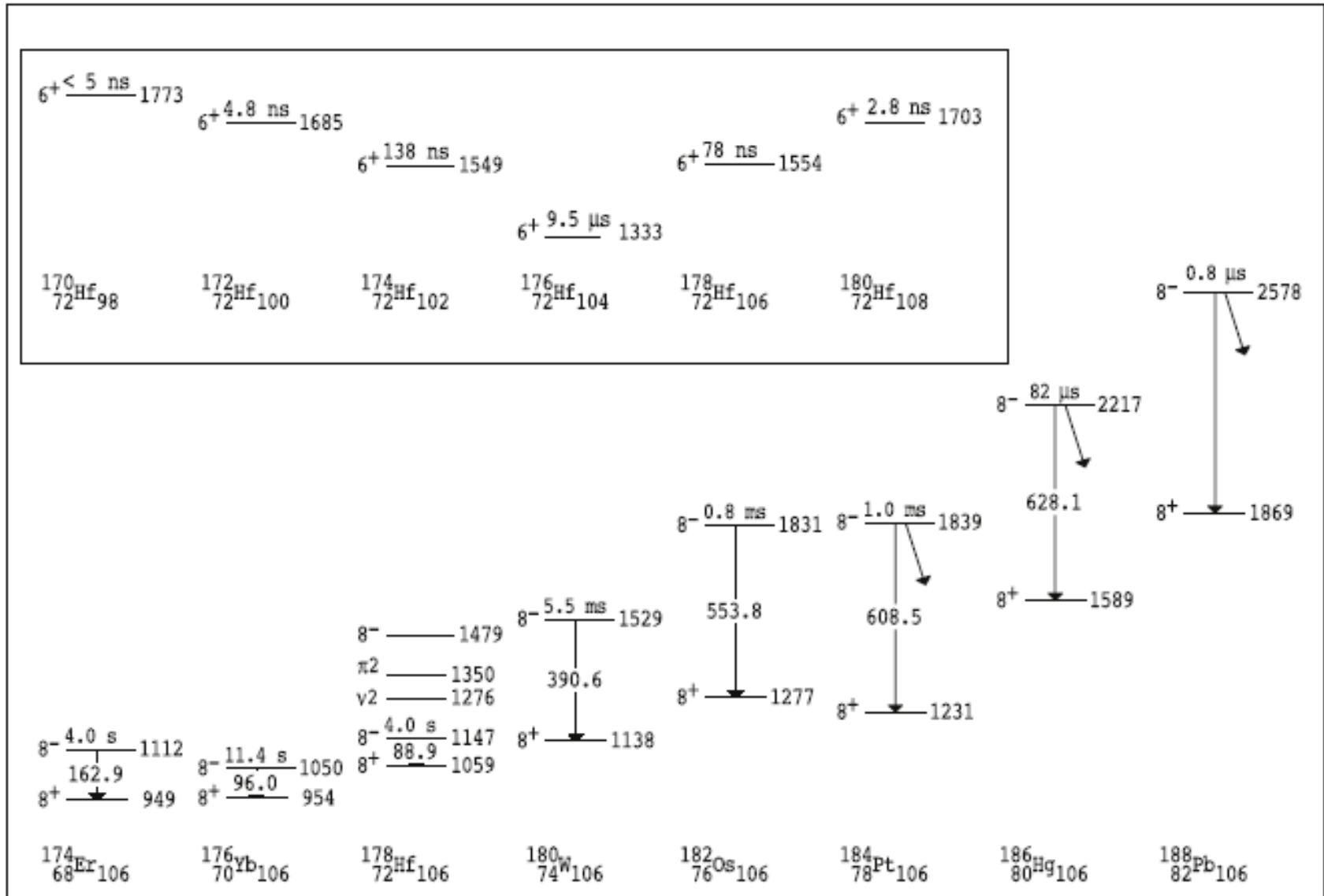
Способы возбуждения изомеров

Реакция или распад	Число изомеров	Число нуклидов
$(n,^*)$	88	85
$(\alpha,^*)$	143	139
$(p,^*)$	122	121
$(d,^*)$	140	138
$(HI,^*)$	71	70
β^-	110	105
EC	154	152
A	80	73
IT	304	288

Основные типы ядерных изомеров



Систематика изомеров в соседних ядрах

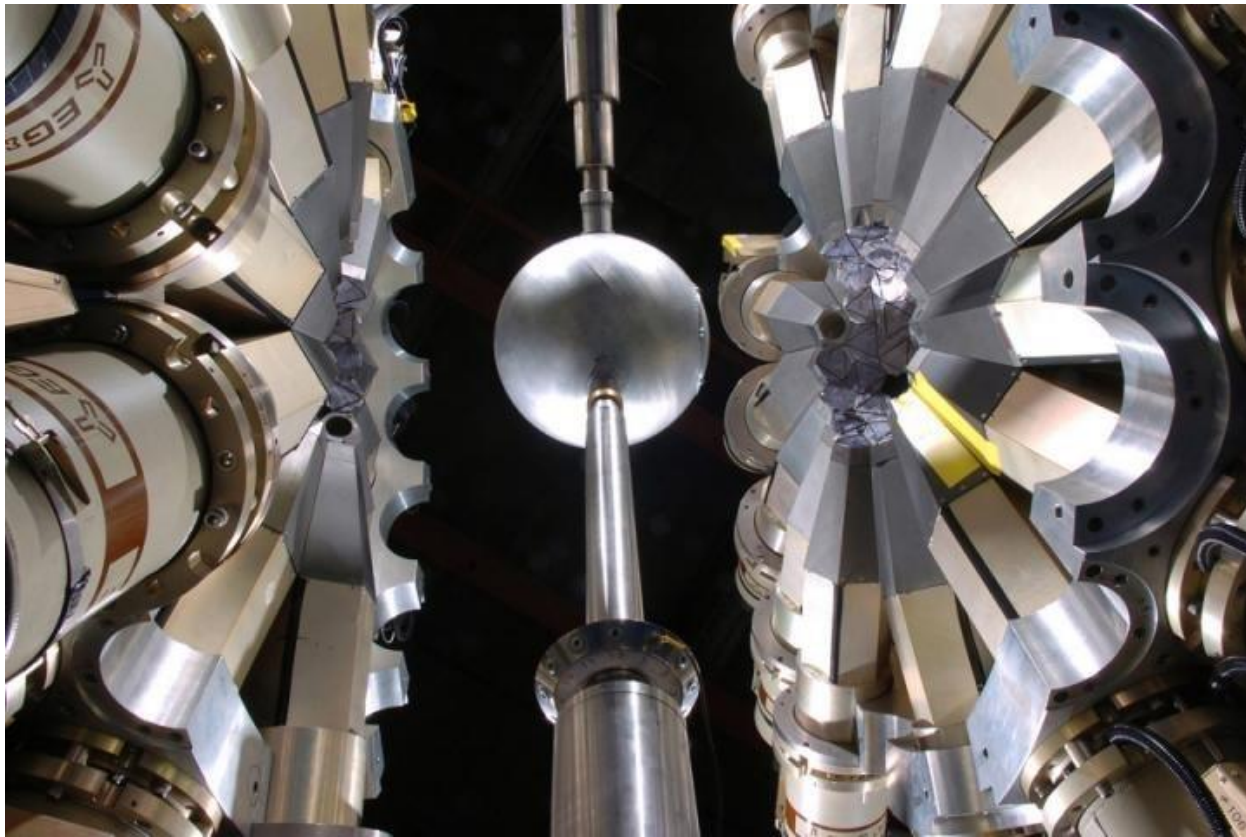


Изомеры как источник энергии

Изомер $^{178\text{m}2}\text{Hf}$ ($I^\pi=16+$) с периодом полураспада 31 год имеет наибольшую энергию возбуждения 2446 кэВ среди долгоживущих изомеров.

3 кг чистого $^{178\text{m}2}\text{Hf}$ содержит примерно 4 ТДж энергии, что эквивалентно килотонне тротила. Эта энергия высвобождается в виде каскадных гамма-квантов и конверсионных электронов.

Ядерное возбуждение при атомном электронном захвате



C. J. Chiara et al. Isomer depletion as experimental evidence of nuclear excitation by electron capture. *Nature*, 2018; 554 (7691): 216

^{93}Mo GS: $I^\pi=5/2+$, $T_{1/2}=4.0\text{E}+3$ y

EC

$^{93\text{m}}\text{Mo}$ $E=2425$ кэВ: $I^\pi=21/2+$, $T_{1/2}=6.85$ h

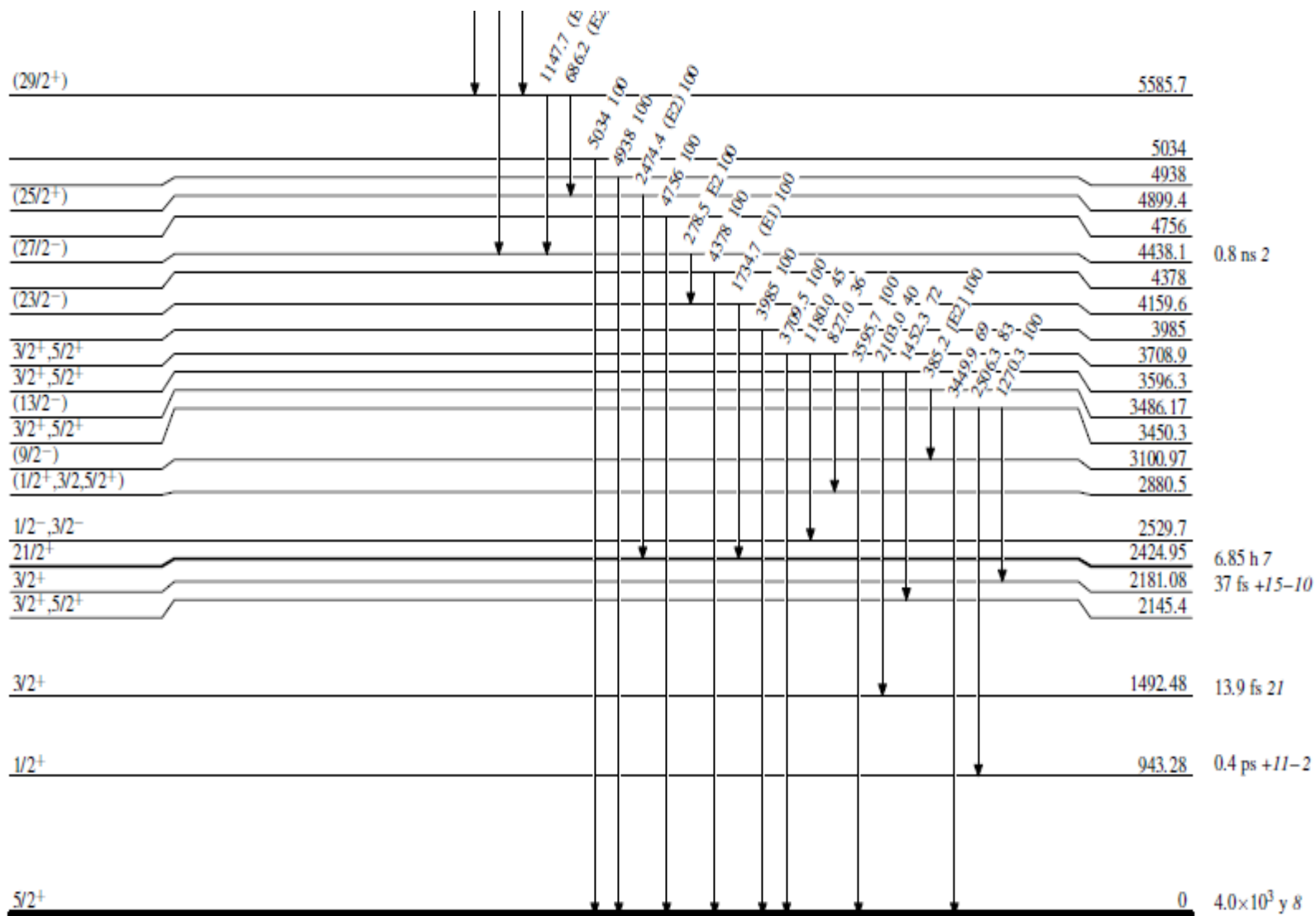
IT=99.88% (E4), EC=0.12%

Способы получения изомера $^{93\text{m}}\text{Mo}$:

^{93}Mo IT decay

$^{93}\text{Nb}(p,n\gamma)$, $^{93}\text{Nb}(p,n)$

$^{80}\text{Se}(^{16}\text{O},3n\gamma)$, $^{82}\text{Se}(^{16}\text{O},5n\gamma)$,



$^{93}_{42}\text{Mo}_{51}$

Ускорение нейтронов

Неупругое рассеяние нейтронов не имеет конфигурационного запрета: И.Кондуров, Е.Коротких, Ю.Петров, 1980 г.

^{152m}Eu : $I^\pi=0^-$, $E=48.5$ кэВ,

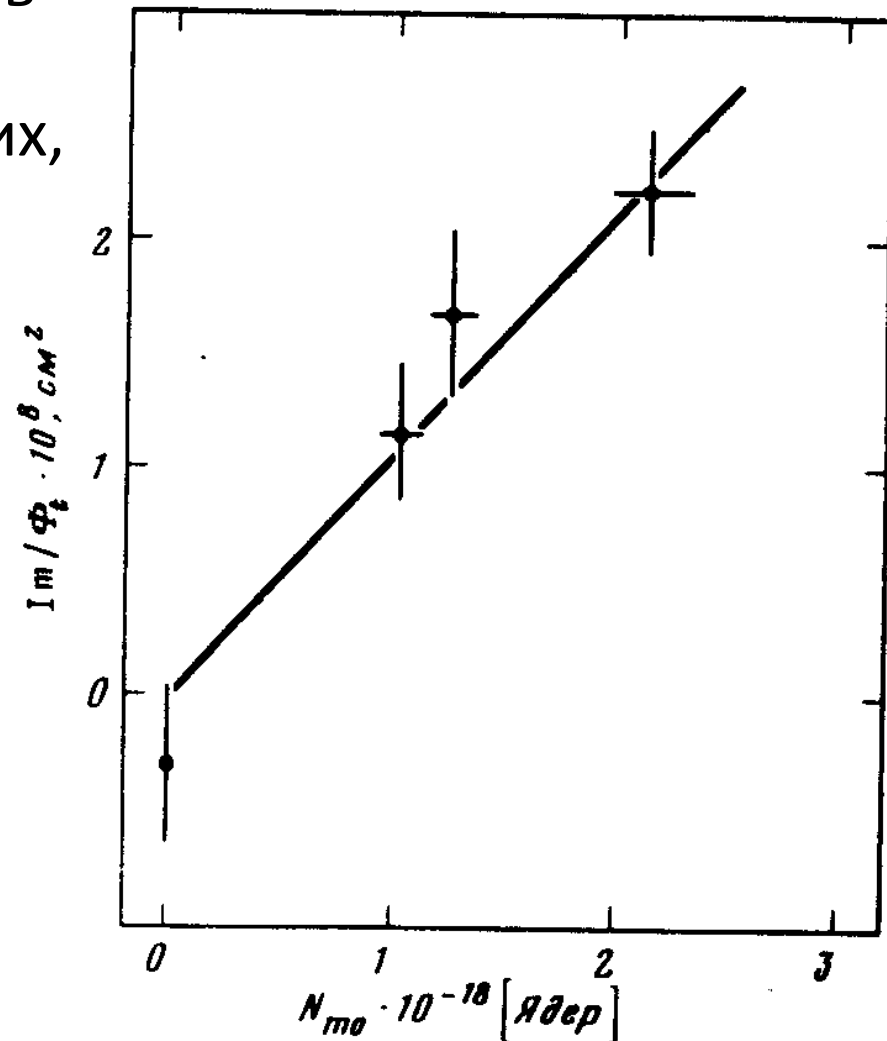
$T_{1/2}=13.42$ час.,

$\sigma_{\text{in}}=0.28(6)$ бн

^{180m}Hf : $I^\pi=8^-$, $E=1141.55$ кэВ,

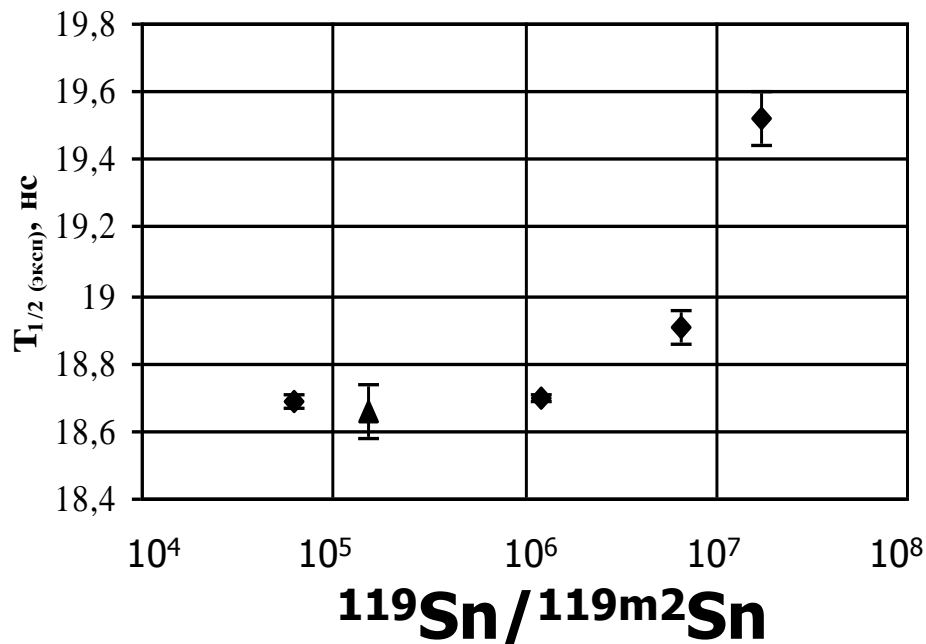
$T_{1/2}=5.53$ час.,

$\sigma_{\text{in}}=52(13)$ бн



Влияние резонансного окружения на время жизни

Наблюдаемое значение периода полураспада изомерного состояния $^{119m1}\text{Sn}$ ($E=23,8$ кэВ, $T_{1/2} \sim 18$ нс), образующегося при распаде долгоживущего изомера $^{119m2}\text{Sn}$ ($E = 89,5$ кэВ, $T_{1/2} \sim 293$ дня) зависит от резонансного окружения (Мёссбауэровский экран).



Концентрация $^{119}\text{Sn}/^{119m2}\text{Sn}$	$T_{1/2}$, нс
0 (табличное значение)	18.03(7)
$6.2 \cdot 10^4$	18.69(2)
$1.2 \cdot 10^6$	18.71(2)
$6.5 \cdot 10^6$	18.91(5)
$1.7 \cdot 10^7$	19.43(4)

Ю.Логинов и др., 2008 г.

Научная программа спектроскопических исследований на реакторе ПИК

Установка PROGRAS (PROmt Gamma RAy Spectrometer) – двухплечевой гамма-спектрометр излучения, сопровождающего нейтронный захват.

Построение схем уровней нечетно-нечетных ядер.

Изучение свойств короткоживущих ядерных изомеров.

Определение интератомных взаимодействий, влияющих на распадные свойства ядер.

Установка INAA (Instrumental Neutron Activation Analysis) – пневмотранспортная установка для нейтронного облучения и спектроскопического исследования образцов.

Определение элементного и изотопного состава, в частности по изменению активности за большие промежутки времени.

Спасибо за внимание

Mitropolsky_IA@pnpi.nrcki.ru