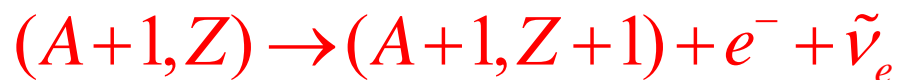
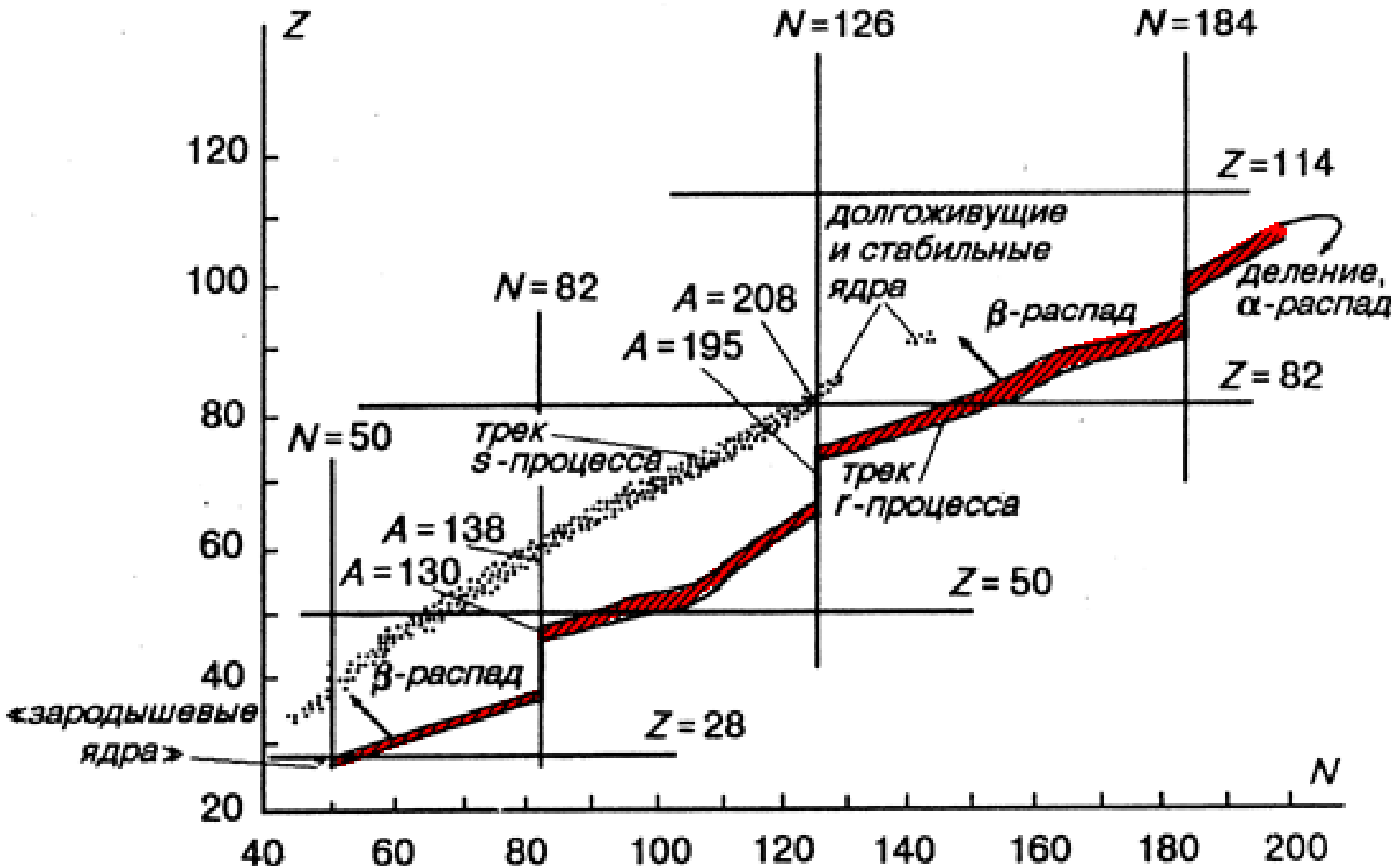




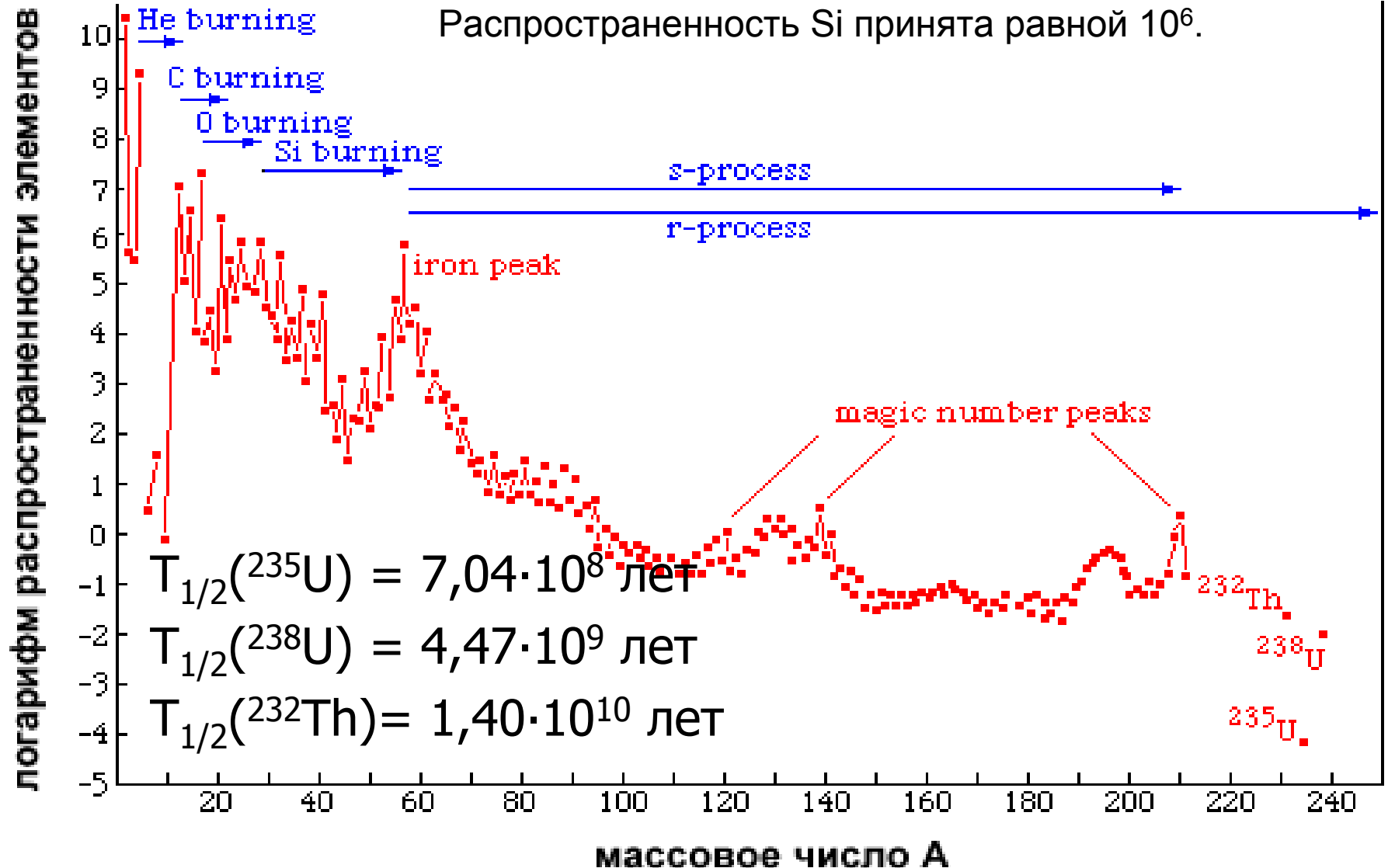
# Рождение и жизнь атомных ядер

# **Синтез сверхтяжелых элементов**

# Взрывной нуклеосинтез



# Распространенность нуклидов во Вселенной



# Периодическая система элементов Менделеева

ГРУППА

ПЕРИОД

1932 г.

Категории

Alkali metals	Actinoids	Halogens
Alkaline earth metals	Post-transition metals	Noble gases
Transition metals	Metalloids	Properties unknown
Lanthanoids	Nonmetals	

Происхождение

-  Изначальный
-  Радиоактивный распад
-  Искусственный синтез

Состояние

-  Твердое
-  Жидкое
-  Газообразное

1 <b>H</b> hydrogen 1.00794(7)																	2 <b>He</b> helium 4.002602(2)
3 <b>Li</b> lithium 6.941(2)	4 <b>Be</b> beryllium 9.012182(3)											5 <b>B</b> boron 10.811(7)	6 <b>C</b> carbon 12.0107(8)	7 <b>N</b> nitrogen 14.0067(2)	8 <b>O</b> oxygen 15.9994(3)	9 <b>F</b> fluorine 18.9984032(5)	10 <b>Ne</b> neon 20.1797(6)
11 <b>Na</b> sodium 22.98976928(2)	12 <b>Mg</b> magnesium 24.3050(6)											13 <b>Al</b> aluminium 26.9815386(8)	14 <b>Si</b> silicon 28.0855(3)	15 <b>P</b> phosphorus 30.973762(2)	16 <b>S</b> sulfur 32.065(5)	17 <b>Cl</b> chlorine 35.453(2)	18 <b>Ar</b> argon 39.948(1)
19 <b>K</b> potassium 39.0983(1)	20 <b>Ca</b> calcium 40.078(4)	21 <b>Sc</b> scandium 44.955912(6)	22 <b>Ti</b> titanium 47.867(1)	23 <b>V</b> vanadium 50.9415(1)	24 <b>Cr</b> chromium 51.9961(6)	25 <b>Mn</b> manganese 54.938045(5)	26 <b>Fe</b> iron 55.845(2)	27 <b>Co</b> cobalt 58.933195(5)	28 <b>Ni</b> nickel 58.6934(4)	29 <b>Cu</b> copper 63.546(3)	30 <b>Zn</b> zinc 65.38(2)	31 <b>Ga</b> gallium 69.723(1)	32 <b>Ge</b> germanium 72.64(1)	33 <b>As</b> arsenic 74.92160(2)	34 <b>Se</b> selenium 78.96(3)	35 <b>Br</b> bromine 79.904(1)	36 <b>Kr</b> krypton 83.798(2)
37 <b>Rb</b> rubidium 85.4678(3)	38 <b>Sr</b> strontium 87.62(1)	39 <b>Y</b> yttrium 88.90585(2)	40 <b>Zr</b> zirconium 91.224(2)	41 <b>Nb</b> niobium 92.90638(2)	42 <b>Mo</b> molybdenum 95.96(2)	43	44 <b>Ru</b> ruthenium 101.07(2)	45 <b>Rh</b> rhodium 102.90550(2)	46 <b>Pd</b> palladium 106.42(1)	47 <b>Ag</b> silver 107.8682(2)	48 <b>Cd</b> cadmium 112.411(8)	49 <b>In</b> indium 114.818(3)	50 <b>Sn</b> tin 118.710(7)	51 <b>Sb</b> antimony 121.760(1)	52 <b>Te</b> tellurium 127.60(3)	53 <b>I</b> iodine 126.90447(3)	54 <b>Xe</b> xenon 131.293(6)
55 <b>Cs</b> caesium 132.9054519(2)	56 <b>Ba</b> barium 137.327(7)	* Lanthanoids 57-71	72 <b>Hf</b> hafnium 178.49(2)	73 <b>Ta</b> tantalum 180.9479(1)	74 <b>W</b> tungsten 183.84(1)	75 <b>Re</b> rhenium 186.207(1)	76 <b>Os</b> osmium 190.23(3)	77 <b>Ir</b> iridium 192.217(3)	78 <b>Pt</b> platinum 195.084(9)	79 <b>Au</b> gold 196.966569(4)	80 <b>Hg</b> mercury 200.59(2)	81 <b>Tl</b> thallium 204.3833(2)	82 <b>Pb</b> lead 207.2(1)	83 <b>Bi</b> bismuth 208.98040(1)	84 <b>Po</b> polonium [208.9824]	85 <b>At</b> astatine [209.99]	86 <b>Rn</b> radon [222.02]
87	88 <b>Ra</b> radium [226.0254]	** Actinoids 89-103															

\* Lanthanoids

57 <b>La</b> lanthanum 138.90547(7)	58 <b>Ce</b> cerium 140.116(1)	59 <b>Pr</b> praseodymium 140.90765(2)	60 <b>Nd</b> neodymium 144.242(3)	61 <b>Pm</b> promethium [144.91]	62 <b>Sm</b> samarium 150.36(2)	63 <b>Eu</b> europium 151.964(1)	64 <b>Gd</b> gadolinium 157.25(3)	65 <b>Tb</b> terbium 158.92535(2)	66 <b>Dy</b> dysprosium 162.500(1)	67 <b>Ho</b> holmium 164.93032(2)	68 <b>Er</b> erbium 167.259(3)	69 <b>Tm</b> thulium 168.93412(2)	70 <b>Yb</b> ytterbium 173.054(5)	71 <b>Lu</b> lutetium 174.9668(1)
--	---	---	--	---	--	---	--	--	---	--	---	--	--	--

\*\* Actinoids

89 <b>Ac</b> actinium [227.03]	90 <b>Th</b> thorium 232.03806(2)	91 <b>Pa</b> protactinium 231.03588(2)	92 <b>U</b> uranium 238.02891(3)
---	--	---	---

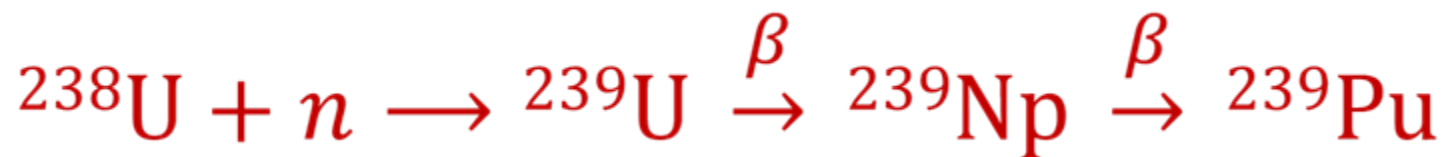
# АКТИНОИДЫ

1940 г. Э.М. Макмиллан, Ф.Х. Абельсон.

${}_{93}\text{Np}$  Нептуний

1941 г. Э.М. Макмиллан, Г.Т. Сиборг, Дж.В. Кеннеди,

А.К. Валь.  ${}_{94}\text{Pu}$  Плутоний



$$T_{1/2}({}^{237}\text{Np}) = 2,14 \cdot 10^6 \text{ лет}$$

$$T_{1/2}({}^{239}\text{Pu}) = 2,41 \cdot 10^4 \text{ лет}$$

**Нобелевская премия по химии**

1951 г. – Э. М. Макмиллан, Г.Т. Сиборг. За открытия в области химии трансурановых элементов

# АКТИНОИДЫ

Г.Т. Сиборг, А. Гиорсо и др. (Беркли, США)

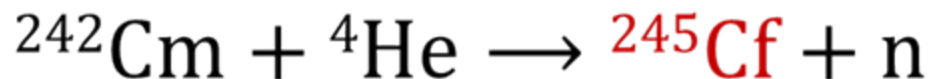
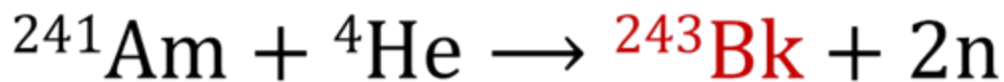
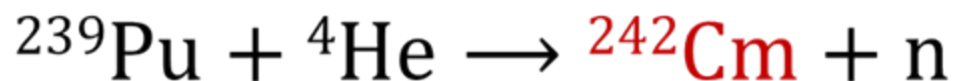
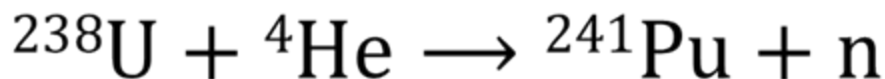
1944 г.  ${}_{95}\text{Am}$  Америций,  ${}_{96}\text{Cm}$  Кюрий

1949 г.  ${}_{97}\text{Bk}$  Берклий,  ${}_{98}\text{Cf}$  Калифорний



Наиболее

долгоживущие изотопы

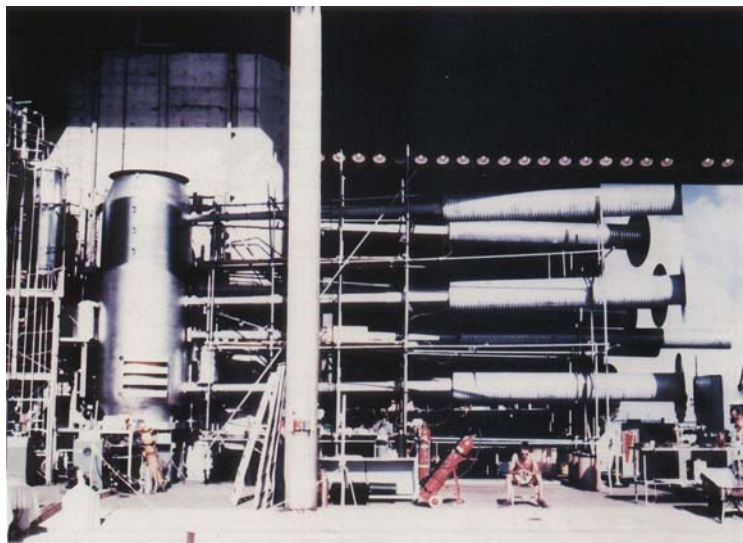
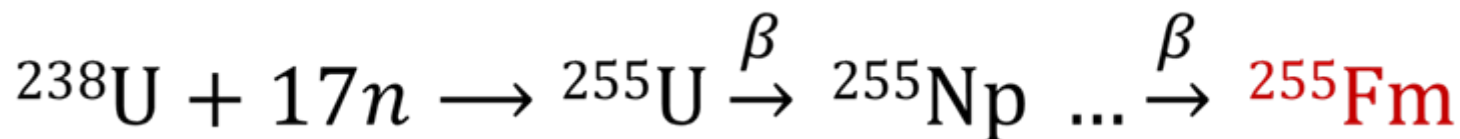
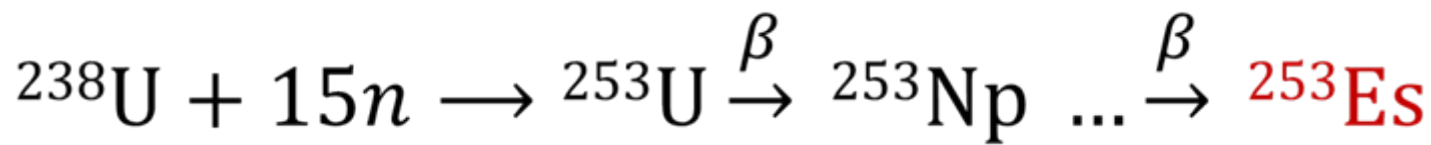


Изотоп	$T_{1/2}$
${}^{243}\text{Am}$	7370 лет
${}^{247}\text{Cm}$	$1,56 \cdot 10^7$ лет
${}^{247}\text{Bk}$	1380 лет
${}^{251}\text{Cf}$	898 лет

# АКТИНОИДЫ

1952 г. А. Гиорсо и др. (Беркли, США)

${}_{99}\text{Es}$  Эйнштейний,  ${}_{100}\text{Fm}$  Фермий



Наиболее  
долгоживущие изотопы

Изотоп	$T_{1/2}$
${}^{252}\text{Es}$	472 дня
${}^{257}\text{Cf}$	100 дней

1 ноября 1952 года. Атолл Эниветок.  
Айви Майк



# Трансфермиевые элементы

Элемент	Год	Лаборатория	Реакция
<sup>101</sup> Md Менделевий	1955	Беркли, США	$^{253}\text{Es} + ^4\text{He} \rightarrow ^{256}\text{Md} + n$
<sup>102</sup> No Нобелий	1963	Дубна, СССР	$^{248}\text{Cm} + ^{13}\text{C} \rightarrow$ $\rightarrow ^{257}\text{No} + 4n$
<sup>103</sup> Lr Лоуренсий	1961	Беркли, США	$^{249}\text{Cm} + ^{10,11}\text{B} \rightarrow$ $\rightarrow ^{255, 256}\text{Lr} + (4,5)n$
	1965	Дубна, СССР	$^{243}\text{Am} + ^{16,18}\text{O} \rightarrow$ $\rightarrow ^{255, 256}\text{Lr} + (3,5)n$

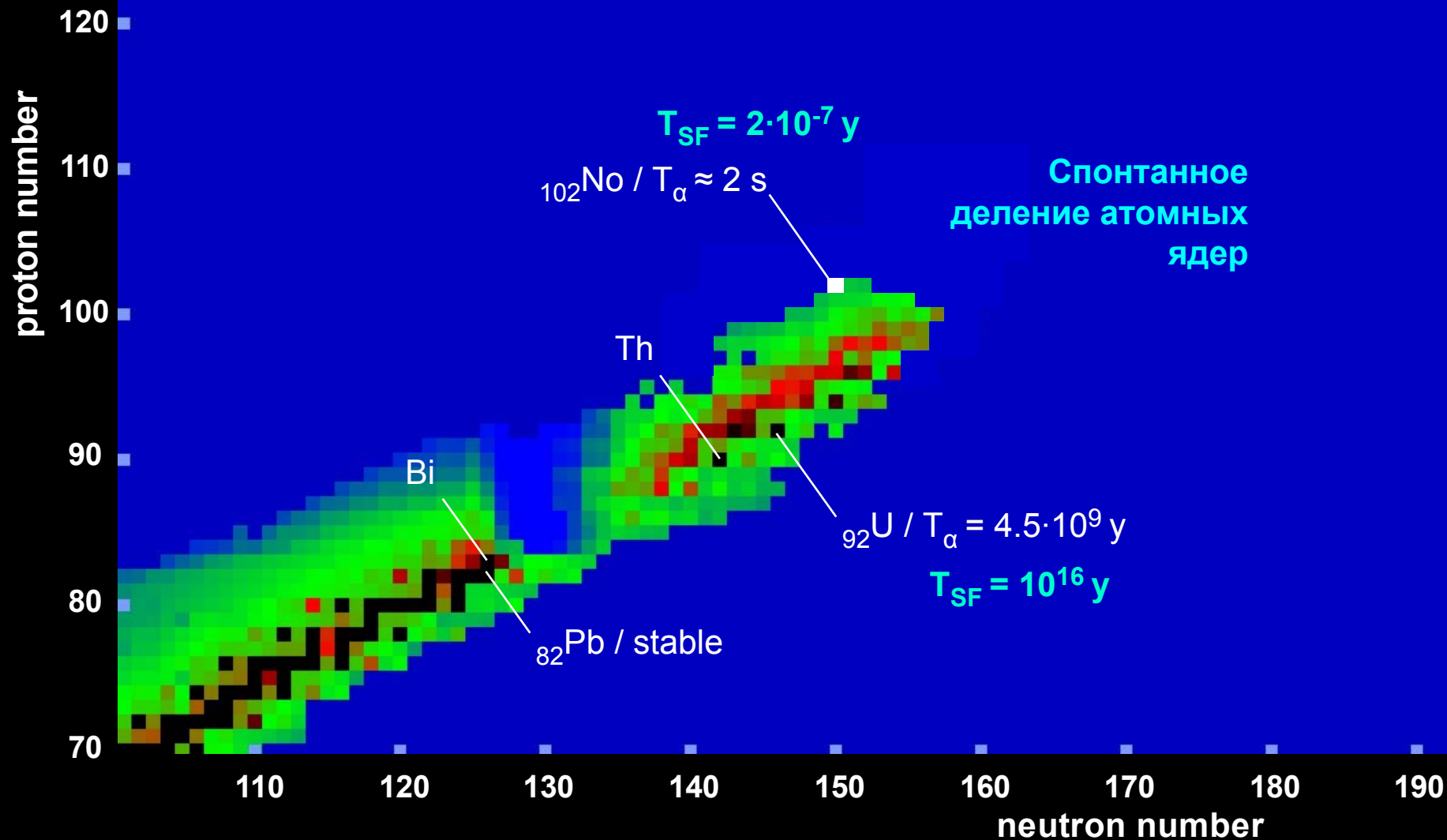
Наиболее  
долгоживущие изотопы

Изотоп	T <sub>1/2</sub>
<sup>258</sup> Md	56 суток
<sup>259</sup> No	58 минут
<sup>262</sup> Lr	4 часа

## ПРОБЛЕМЫ:

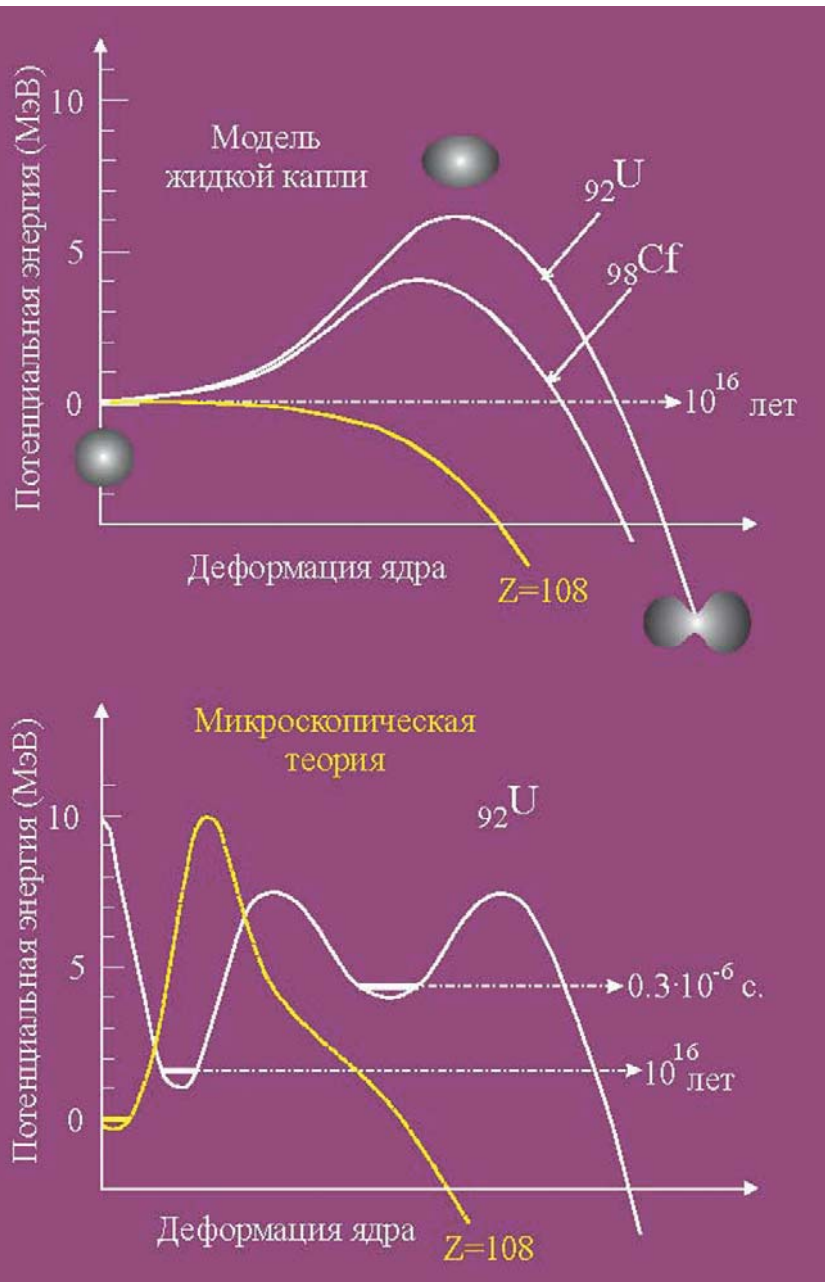
- Отсутствие в требуемых количествах мишеней из тяжелых трансурановых элементов.
- Существенное уменьшение по мере увеличения Z времени жизни изотопов, что значительно усложняет их идентификацию.

около 50 лет назад...

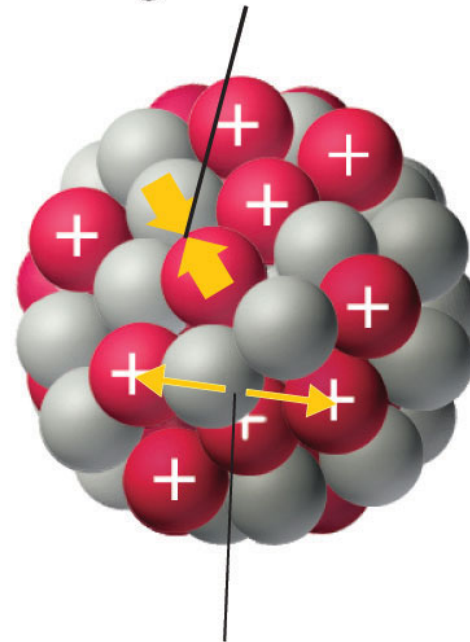


## Капельная модель

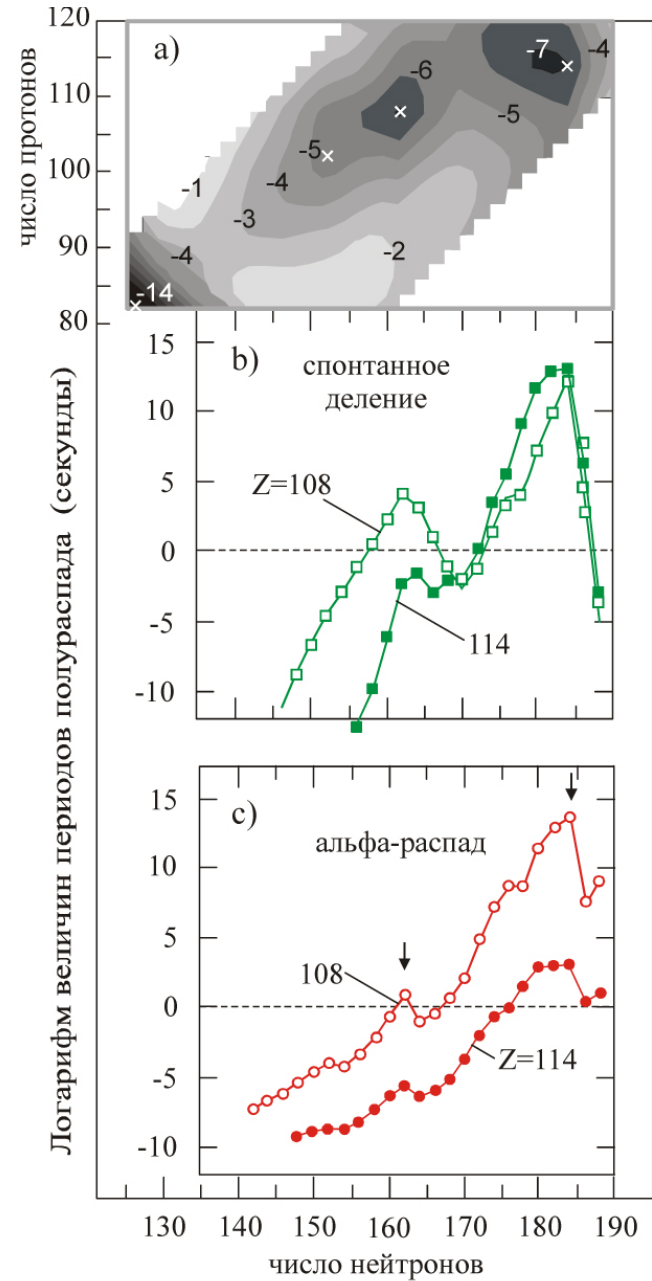
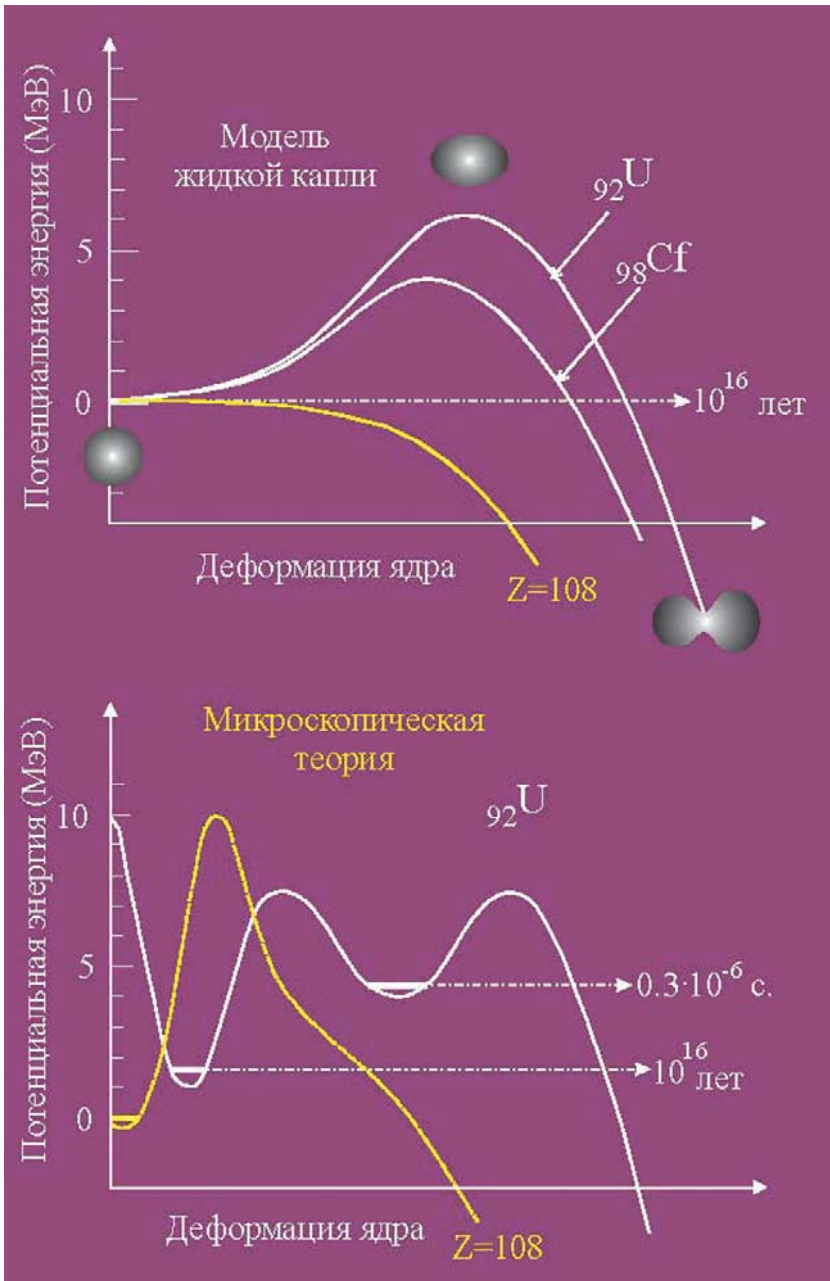
Для  $Z \geq 104$  время жизни  $\sim 10^{-19}$  с



Strong nuclear force

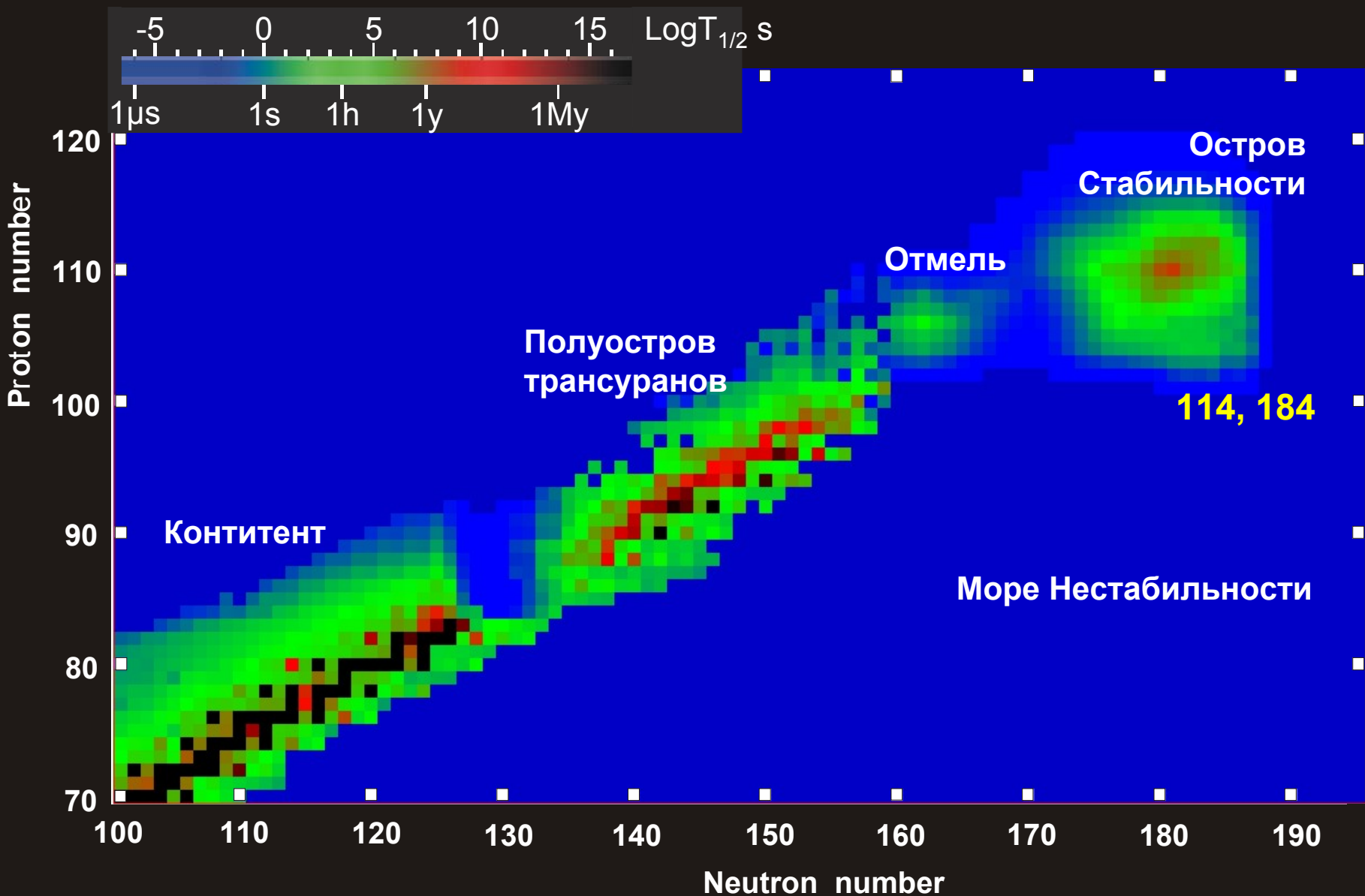


Electrostatic repulsion



New lands

Макро-микроскопическая теория ядра



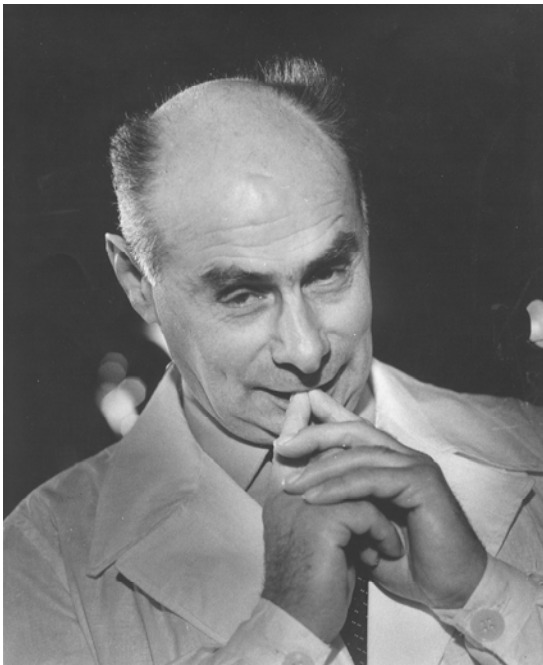


# Горячее слияние

Элемент	Год	Лаборатория	Реакция
<b><sup>104</sup>Rf</b> Резерфордий	1964	Дубна, СССР	$^{242}\text{Pu} + ^{22}\text{Ne} \rightarrow$ $\rightarrow \text{260, 259Rf} + (4,5)\text{n}$
	1969	Беркли, США	$^{249}\text{Cf} + ^{12}\text{C} \rightarrow \text{257Rf} + 4\text{n}$
<b><sup>105</sup>Db</b> Дубний	1970	Дубна, СССР	$^{242}\text{Am} + ^{22}\text{Ne} \rightarrow \text{264Db}$
	1970	Беркли, США	$^{242}\text{Cf} + ^{15}\text{N} \rightarrow \text{264Db} + 4\text{n}$
<b><sup>106</sup>Sg</b> Сиборгий	1974	Беркли, США	$^{249}\text{Cf} + ^{18}\text{O} \rightarrow \text{263Sg} + 4\text{n}$
	1974	Дубна, СССР	$^{243}\text{Am} + ^{16, 18}\text{O} \rightarrow$ $\rightarrow \text{255, 256Lr} + (3,5)\text{n}$

Наиболее  
долгоживущие изотопы

Изотоп	T <sub>1/2</sub>
<sup>263</sup> Rf	10 минут
<sup>268</sup> Db	32 часа
<sup>271</sup> Sg	2,4 минуты



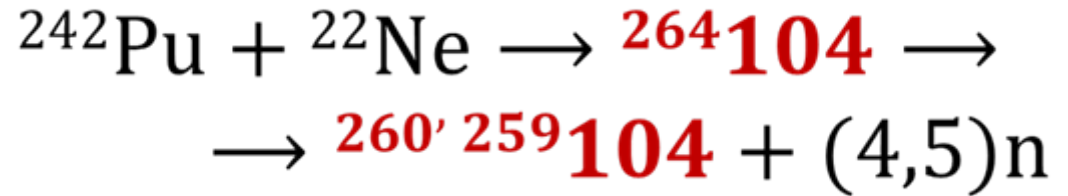
Георгий Николаевич  
**ФЛЕРОВ**

На 2015 г:

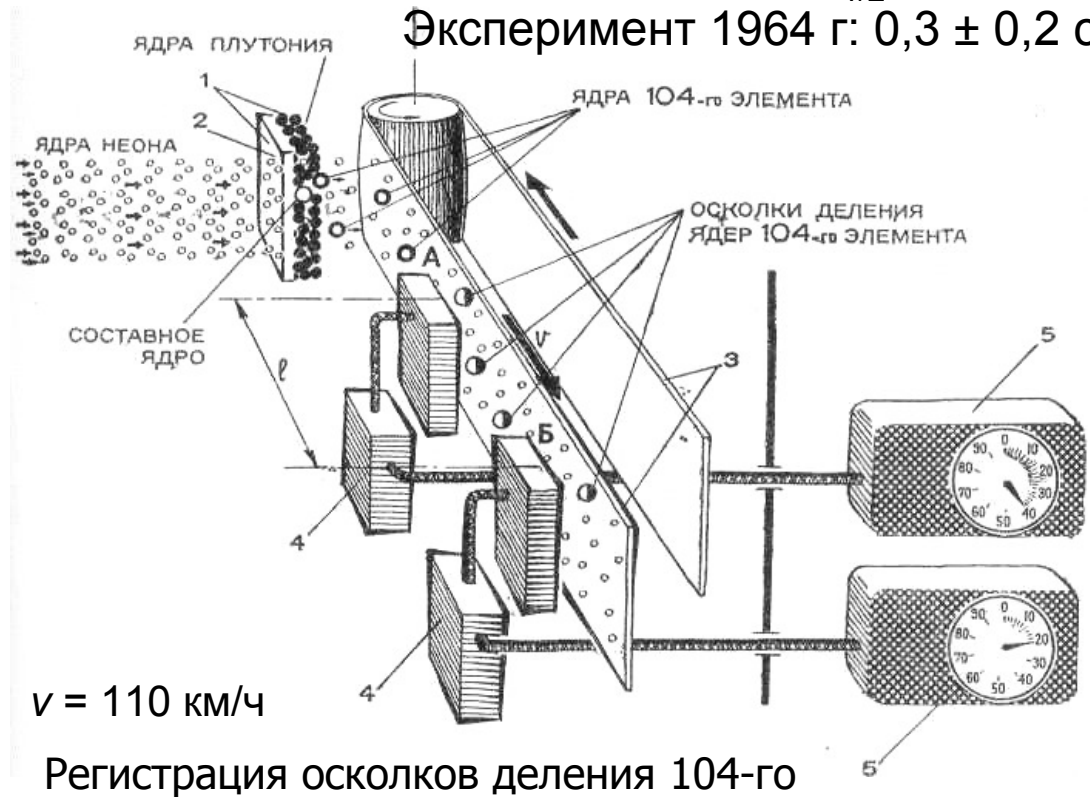
$T_{1/2} (^{259}\text{Rf}) \sim 3,2 \text{ с}$

$T_{1/2} (^{260}\text{Rf}) \sim 0,02 \text{ с}$

# Взятие 104-го



Предсказание:  $T_{1/2} \sim 0,013 \text{ с}$   
 Эксперимент 1964 г:  $0,3 \pm 0,2 \text{ с}$



# Холодное слияние

## ПРОБЛЕМА горячего синтеза:

- Высокая энергия возбуждения ( $E_x \sim 20 - 40$  МэВ):
  - Вероятность испустить нейтрон в 100 раз меньше вероятности деления. Для охлаждения необходимо 4-5 нейтронов, следовательно вероятность «выживания» ядра  $\sim (10^{-2})^4 = 10^{-8}$
  - Уменьшение роли оболочек

1974 г. Ю.Ц. Оганесян, А.Г. Дёмин и др. **Реакции «холодного слияния»**  
Мишень:  $^{208}\text{Pb}$  ( $Z=82$ ,  $N=126$ ) или  $^{209}\text{Bi}$  ( $Z=83$ ,  $N=126$ )

Пучок:  $Z > 18$  ( $^{40}\text{Ca}$ ,  $^{48}\text{Ca}$ ,  $^{54}\text{Cr}$ ,  $^{58}\text{Fe}$ ,  $^{62}\text{Ni}$ ,  $^{64}\text{Ni}$  и др)

Минимальная кинетическая энергия пучка

Слияние магических ядер  $E_x \sim 12 - 20$  МэВ

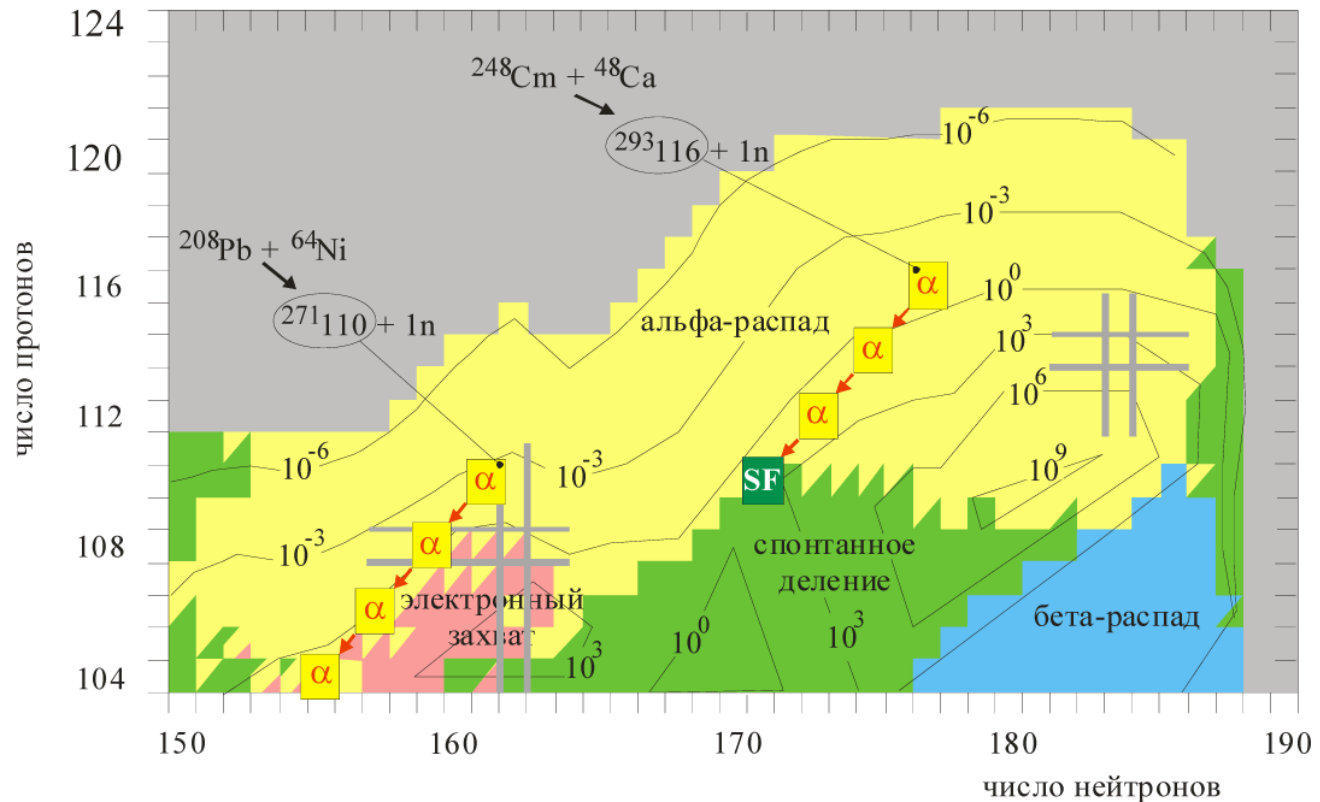
1976 - 96 гг. GSI, Дармштадт, ГДР. **Синтез элементов с  $Z = 107 - 112$**

## ПРОБЛЕМЫ:

- Рост кулоновского отталкивания при  $Z > 50$  ( $^{208}\text{Pb} + ^{50}\text{Zn}$  :  $Z_1 \times Z_2 = 2460$ )
- Недостаток нейтронов в компаунд-ядре



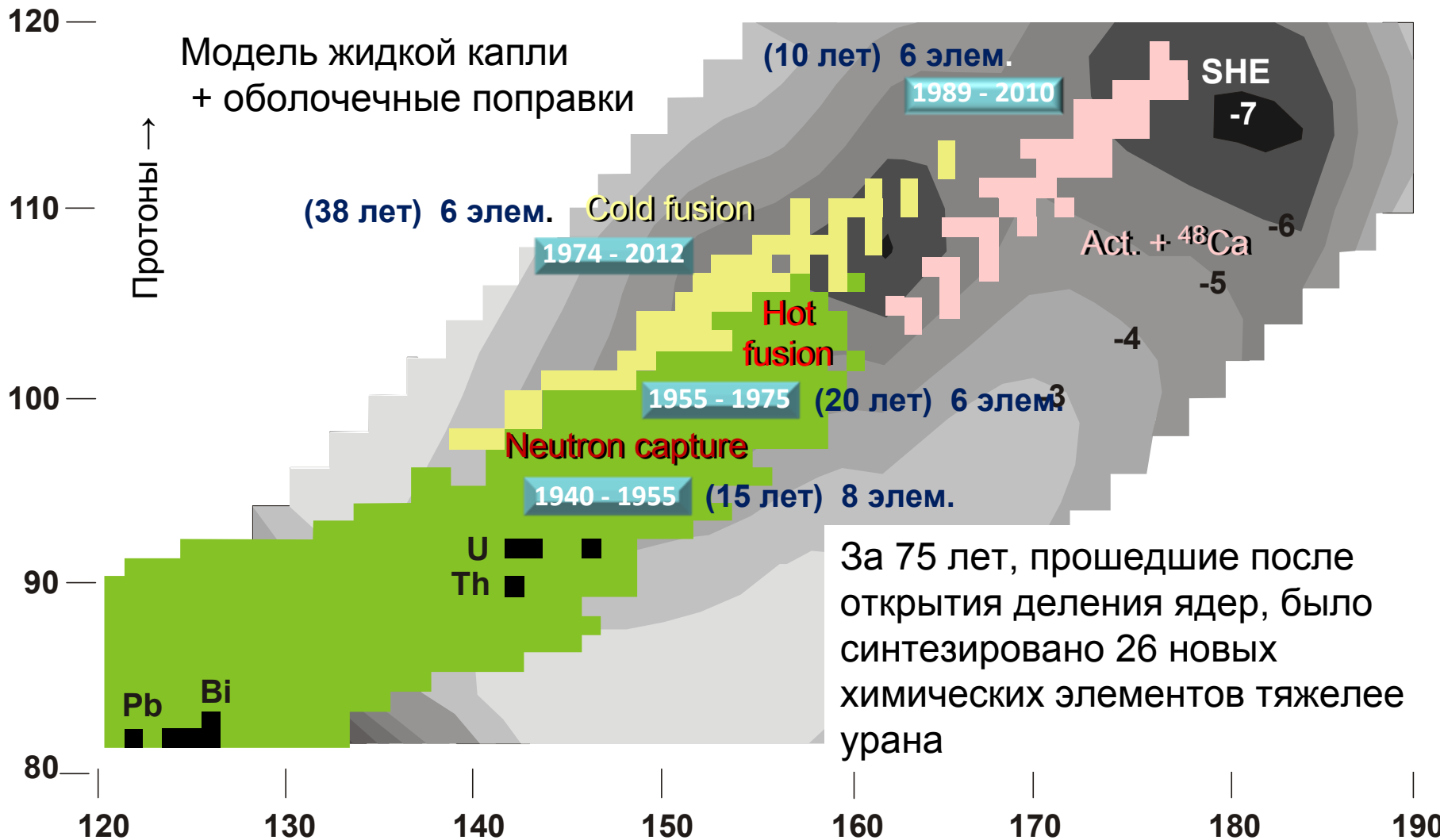
# $^{48}\text{Ca}$ + Actinide



- Силы Кулона  $\sim Z_1 \times Z_2 < 2000$
- $^{48}\text{Ca}$  – дважды магическое ядро
- Энергия возбуждения компаунд-ядра  $\sim 30\text{-}35$  МэВ
- Регистрация семейства альфа-распадов
- **Синтез элементов с  $Z = 104 - 118$**

# Синтез элементов

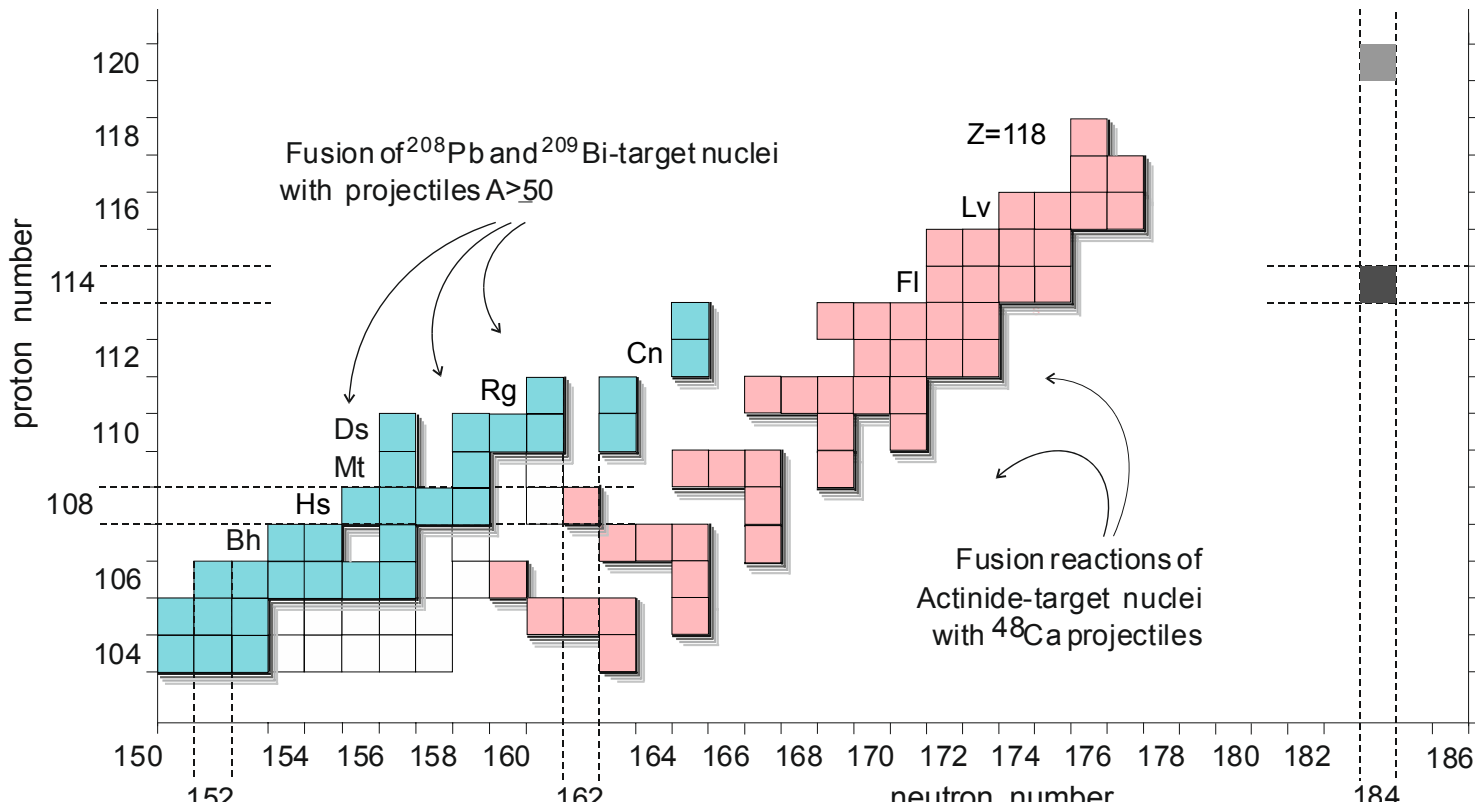
A. Sobiczewski, K. Pomorski, PPNP 58, 292, 2007



# $^{48}\text{Ca}$ + Actinide

- Природный кальций: 0,187%  $^{48}\text{Ca}$
- Пучок:  $^{48}\text{Ca}$   $8 \cdot 10^{12}$  /с (расход 0.5 мг/час)
- Мишени: **Pu, Am, Cm** и **Cf** ( $Z = 94-96, 98$ ) [Ок-Ридж, США; Димитроград, Россия; Саров, Россия]

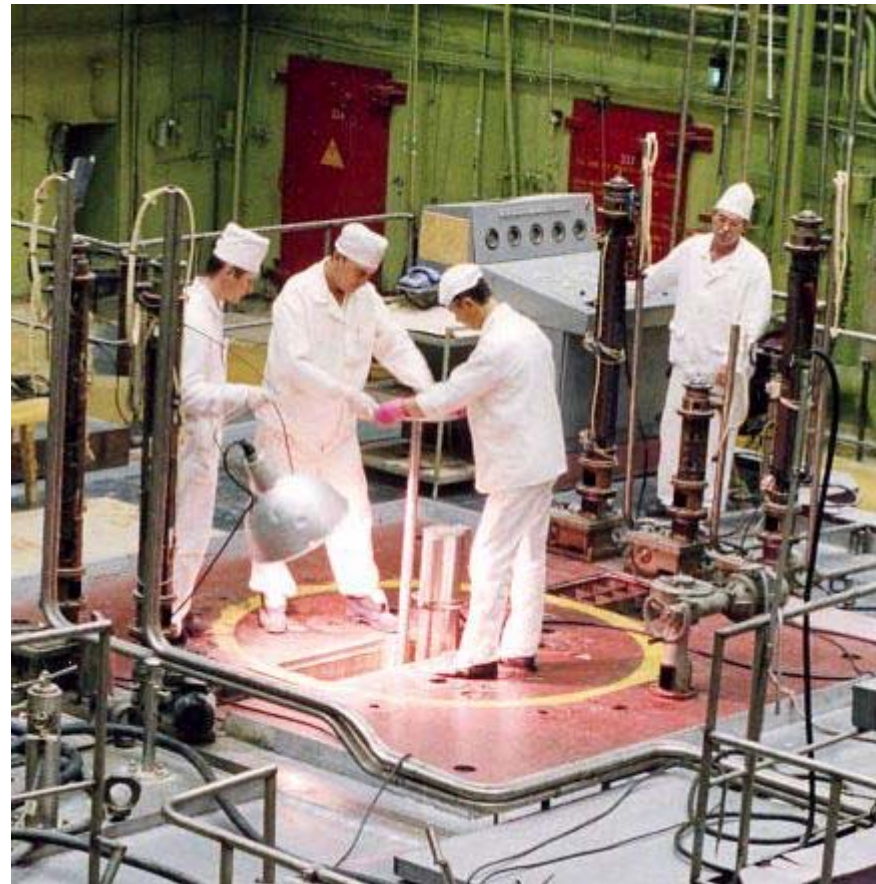
## Синтез элементов с $Z = 104 - 118$



# Производство тяжелых изотопов

HFIR, ORNL, Oak Ridge, USA, 85 MW

СМ-3, IAR, Димитровград, РФ, 100 MW

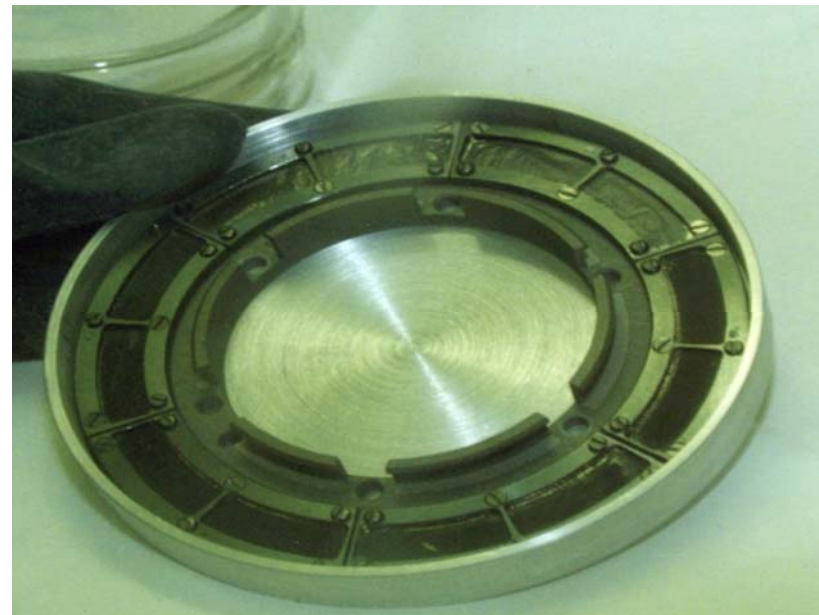




# Мишень



Work on mixed Cf  
at REDC ORNL



$^{249}\text{Cf}$ (351 y)	$^{250}\text{Cf}$ (13 y)	$^{251}\text{Cf}$ (898 y)
5.61 mg	1.43 mg	<b>4.03 mg</b>
50.7%	12.9%	<b>36.4%</b>
Average thickness 0.35 mg/cm <sup>2</sup>		



перед экспериментом...



и после

# Сверхпроводящий источник ионов 18 GHz ECR

## DECRISS-SC2

Пучок  $^{48}\text{Ca}$  на ускорителе  
тяжелых ионов **U400**

Энергия: 235-250 МэВ  
( $v \approx 0.1$  c);

Интенсивность: 1.0-1.5  $\mu\text{A}$   
( $n \times 10^{12} \div 10^{13}$  1/c);

Потребление: 0.5-0.8 мг/ч  
Доза:  $(0.3-3.0) \cdot 10^{19}$



Цена за 1 мг

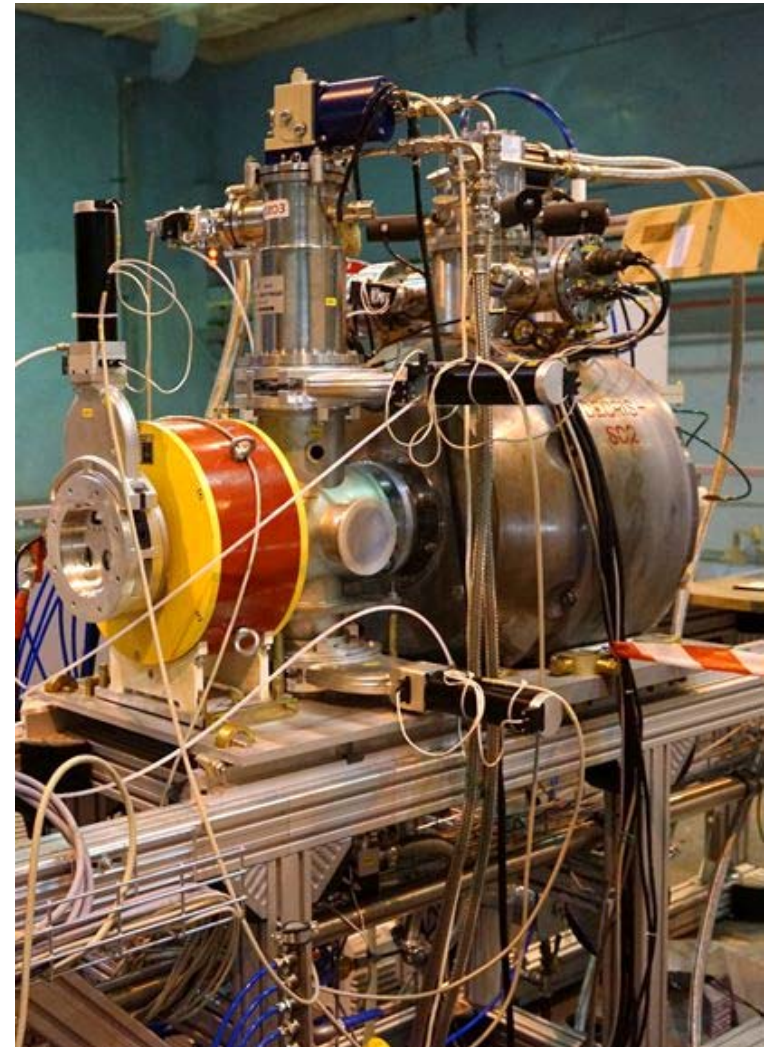
$^{197}\text{Au} \approx 0.045$  US\$

$\text{natU}_3\text{O}_8 \approx 0.03$  US\$

$^{239}\text{Pu} \approx 4$  US\$

$^{48}\text{Ca} \approx 80$  US\$

$^{249}\text{Cf} \approx 60,000$  US\$



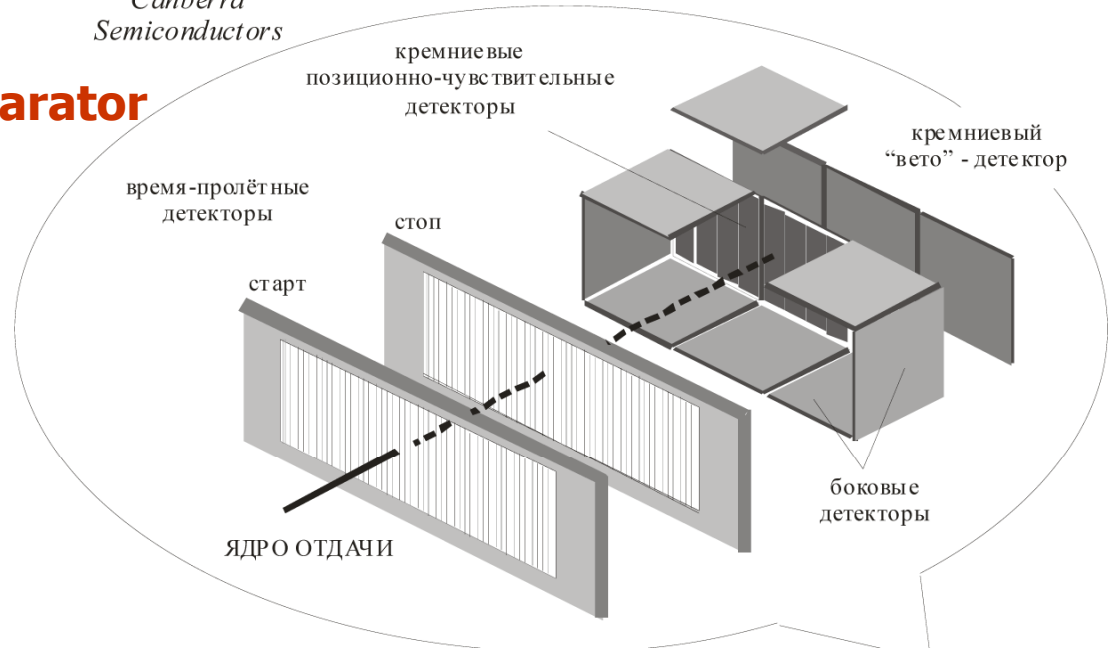


# Синтез сверхтяжелых элементов (U-400)



## Dubna Gas-Filled Recoil Separator

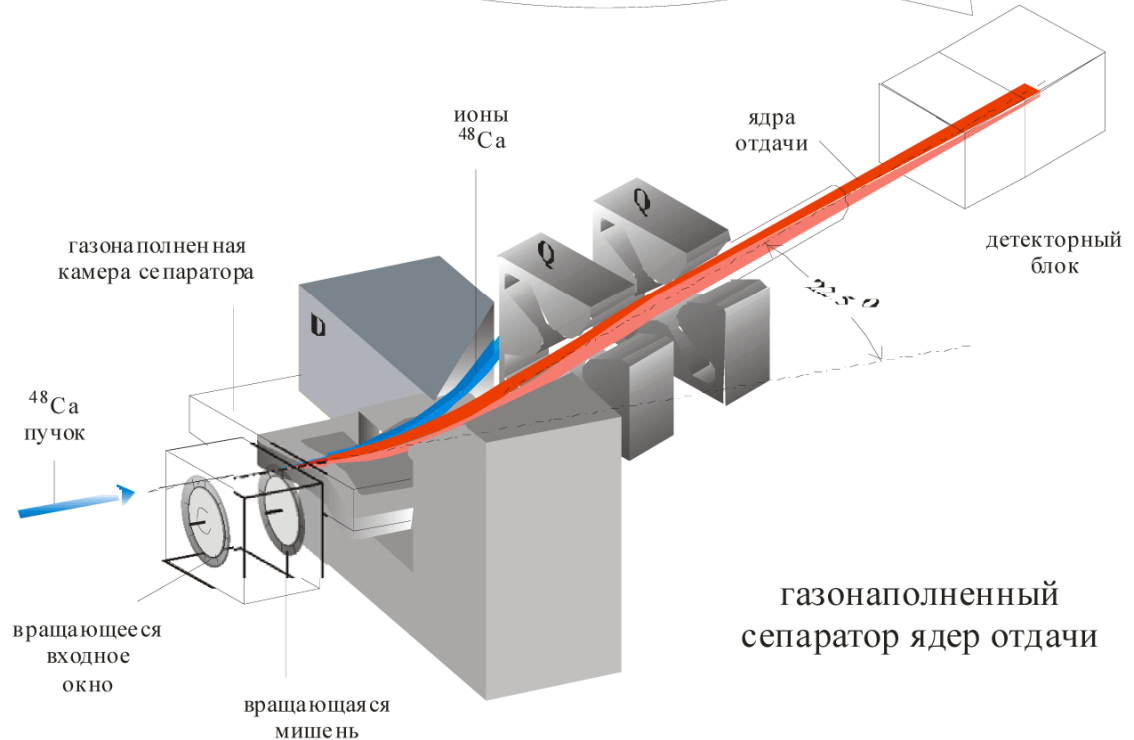
Газонаполненный  
Сепаратор  
(водород  $10^{-3}$  атм)



## Эффективность регистрации:

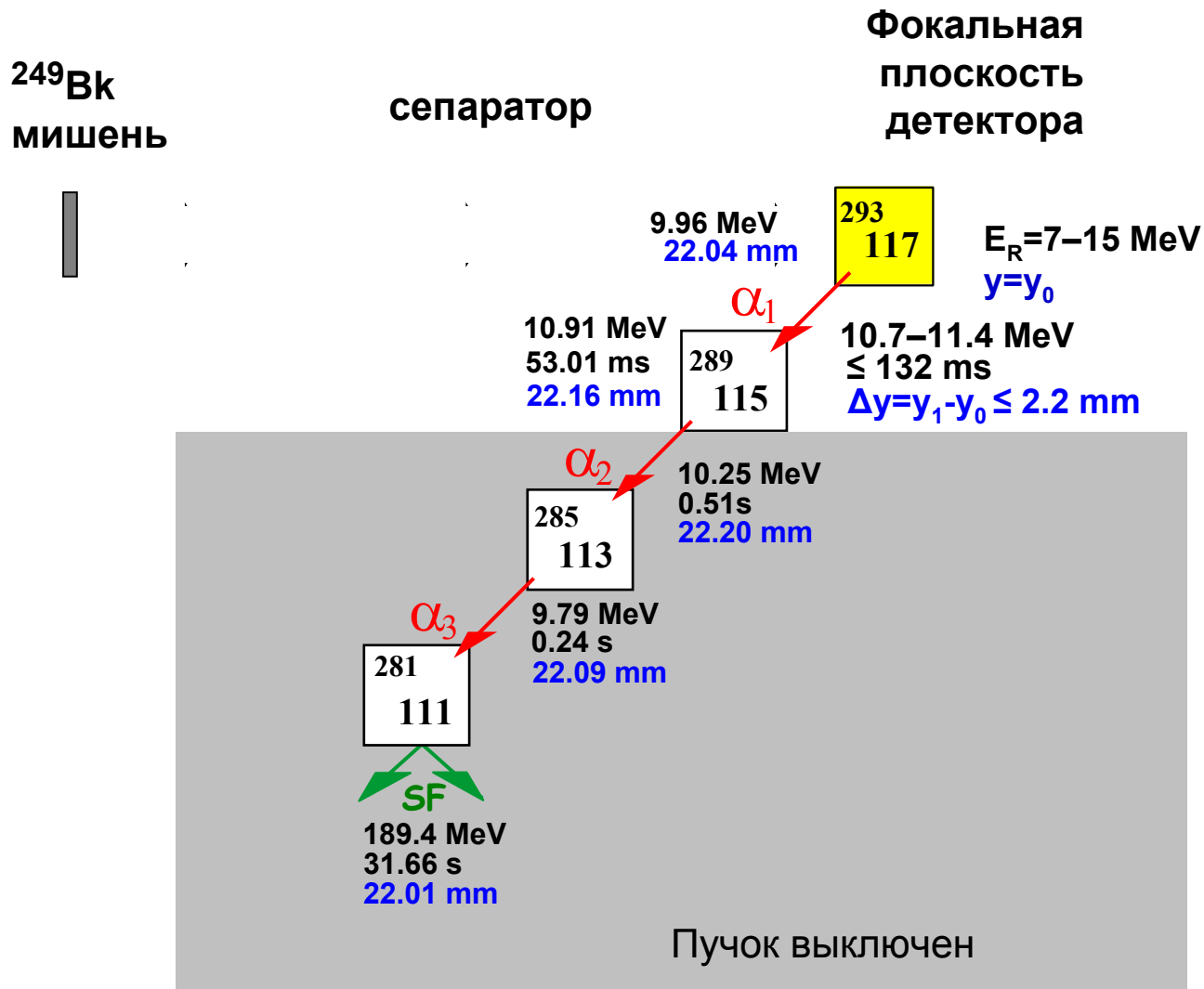
для  $\alpha$ -частиц 87%

для SF осколков  
один фрагмент 100%  
два фрагмента  $\approx$  40%



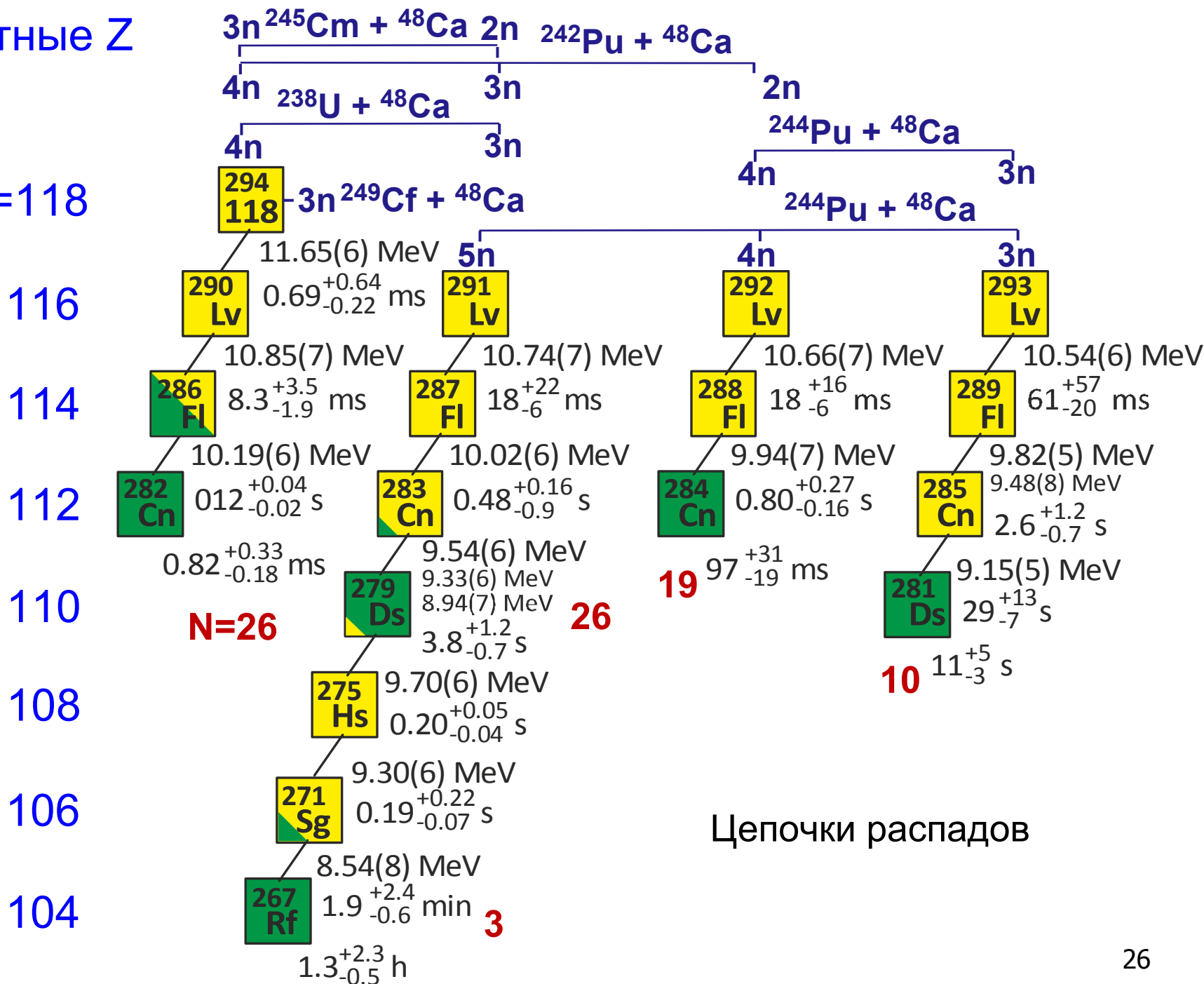


# Низкофоновая схема детектирования



# Четные Z

Z=118



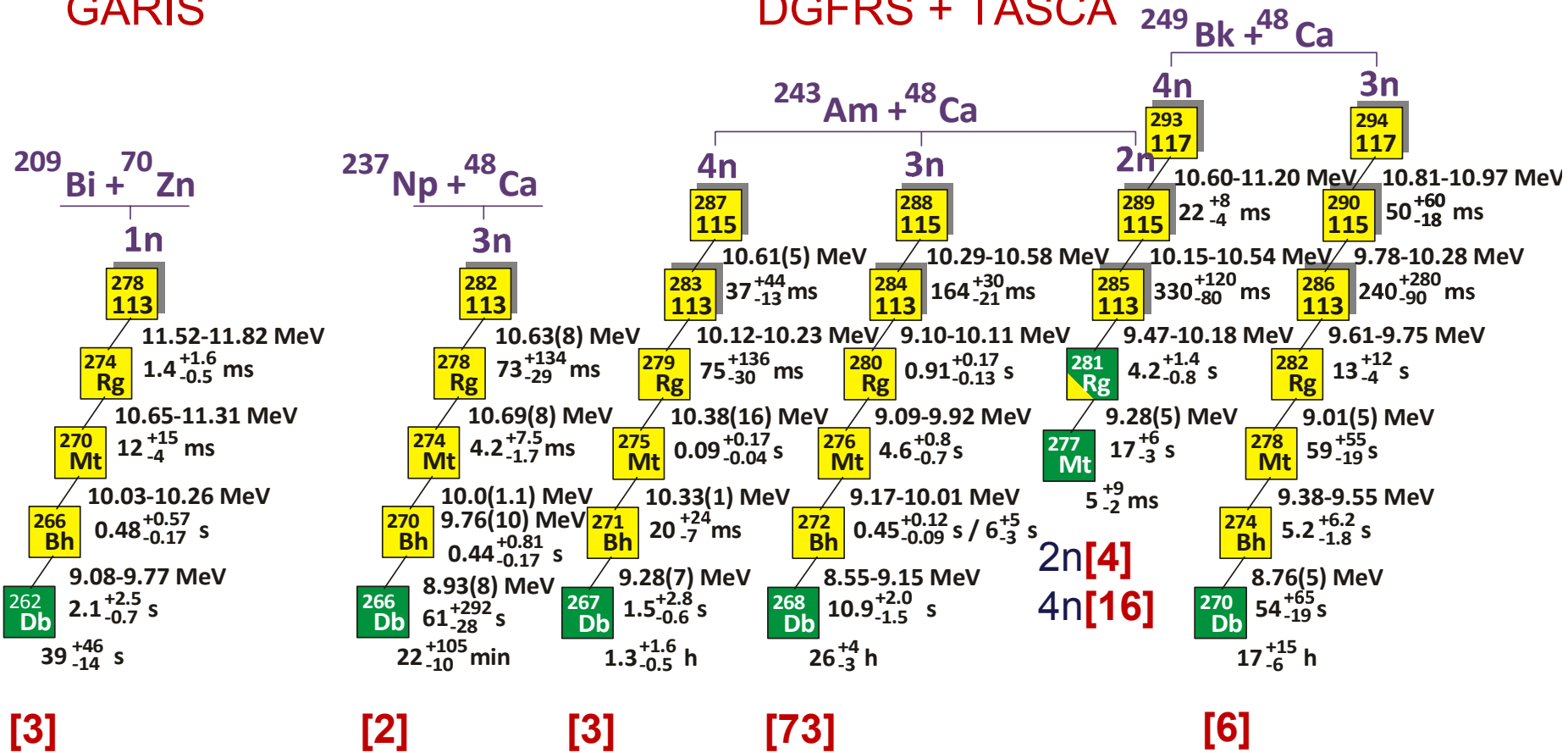
Цепочки распадов

# Нечетные Z

Июнь, 2013

GARIS

DGFRS + TASCA





International Union of Pure  
and Applied Chemistry

**Май 2011:**

Признание открытия новых элементов **114** и **116**

**Май 2012:**

Утверждение названия **Flerovium** для элемента **114**  
и названия **Livermorium** для элемента **116**

**30 декабря 2015:**

Признание открытия новых элементов **113**, **115**, **117** и **118**

Приоритет :

- **113:** RIKEN (Япония)
- **115** и **117:** ОИЯИ (Дубна) - LLNL (США) – ORNL (США)
- **118:** ОИЯИ (Дубна) – LLNL (США)

**8 июня 2016:**

Предварительные рекомендации по названиям элементов **113**, **115**, **117**, **118**

(Нихоний) <b>113</b> <b>(Nh)</b> (Nihonium)	Флеровий <b>114</b> <b>Fl</b> Flerovium	(Московский) <b>115</b> <b>(Mc)</b> (Moscovium)	Ливерморий <b>116</b> <b>Lv</b> Livermorium	(Теннессин) <b>117</b> <b>(Ts)</b> (Tennessine)	(Оганесон) <b>118</b> <b>(Og)</b> (Oganesson)
---	---	---	---	---	---

*Все эти элементы впервые были синтезированы  
на ускорительном комплексе У400  
Лаборатории ядерных реакций имени Г.Н. Флерова (ОИЯИ, Дубна).*

# Периодическая система элементов Менделеева

ГРУППА

ПЕРИОД

2006 г.

Категории

Alkali metals	Actinoids	Halogens
Alkaline earth metals	Post-transition metals	Noble gases
Transition metals	Metalloids	Properties unknown
Lanthanoids	Nonmetals	

Происхождение

-  Изначальный
-  Радиоактивный распад
-  Искусственный синтез

Состояние

-  Твердое
-  Жидкое
-  Газообразное

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 <b>H</b> hydrogen 1.00794(7)																	2 <b>He</b> helium 4.002602(2)
2 <b>Li</b> lithium 6.941(2)	4 <b>Be</b> beryllium 9.012182(3)											5 <b>B</b> boron 10.811(7)	6 <b>C</b> carbon 12.0107(8)	7 <b>N</b> nitrogen 14.0067(2)	8 <b>O</b> oxygen 15.9994(3)	9 <b>F</b> fluorine 18.9984032(5)	10 <b>Ne</b> neon 20.1797(6)
3 <b>Na</b> sodium 22.98976928(2)	12 <b>Mg</b> magnesium 24.3050(6)											13 <b>Al</b> aluminium 26.9815386(8)	14 <b>Si</b> silicon 28.0855(3)	15 <b>P</b> phosphorus 30.973762(2)	16 <b>S</b> sulfur 32.065(5)	17 <b>Cl</b> chlorine 35.453(2)	18 <b>Ar</b> argon 39.948(1)
4 <b>K</b> potassium 39.0983(1)	20 <b>Ca</b> calcium 40.078(4)	21 <b>Sc</b> scandium 44.955912(6)	22 <b>Ti</b> titanium 47.867(1)	23 <b>V</b> vanadium 50.9415(1)	24 <b>Cr</b> chromium 51.9961(6)	25 <b>Mn</b> manganese 54.938045(5)	26 <b>Fe</b> iron 55.845(2)	27 <b>Co</b> cobalt 58.933195(5)	28 <b>Ni</b> nickel 58.6934(4)	29 <b>Cu</b> copper 63.546(3)	30 <b>Zn</b> zinc 65.38(2)	31 <b>Ga</b> gallium 69.723(1)	32 <b>Ge</b> germanium 72.64(1)	33 <b>As</b> arsenic 74.92160(2)	34 <b>Se</b> selenium 78.96(3)	35 <b>Br</b> bromine 79.904(1)	36 <b>Kr</b> krypton 83.798(2)
5 <b>Rb</b> rubidium 85.4678(3)	38 <b>Sr</b> strontium 87.62(1)	39 <b>Y</b> yttrium 88.90585(2)	40 <b>Zr</b> zirconium 91.224(2)	41 <b>Nb</b> niobium 92.90638(2)	42 <b>Mo</b> molybdenum 95.96(2)	43 <b>Tc</b> technetium [98.9063]	44 <b>Ru</b> ruthenium 101.07(2)	45 <b>Rh</b> rhodium 102.90550(2)	46 <b>Pd</b> palladium 106.42(1)	47 <b>Ag</b> silver 107.8682(2)	48 <b>Cd</b> cadmium 112.411(8)	49 <b>In</b> indium 114.818(3)	50 <b>Sn</b> tin 118.710(7)	51 <b>Sb</b> antimony 121.760(1)	52 <b>Te</b> tellurium 127.60(3)	53 <b>I</b> iodine 126.90447(3)	54 <b>Xe</b> xenon 131.293(6)
6 <b>Cs</b> caesium 132.9054519(2)	56 <b>Ba</b> barium 137.327(7)	* Lanthanoids 57-71	72 <b>Hf</b> hafnium 178.49(2)	73 <b>Ta</b> tantalum 180.9479(1)	74 <b>W</b> tungsten 183.84(1)	75 <b>Re</b> rhenium 186.207(1)	76 <b>Os</b> osmium 190.23(3)	77 <b>Ir</b> iridium 192.217(3)	78 <b>Pt</b> platinum 195.084(9)	79 <b>Au</b> gold 196.966569(4)	80 <b>Hg</b> mercury 200.59(2)	81 <b>Tl</b> thallium 204.3833(2)	82 <b>Pb</b> lead 207.2(1)	83 <b>Bi</b> bismuth 208.98040(1)	84 <b>Po</b> polonium [208.9824]	85 <b>At</b> astatine [209.99]	86 <b>Rn</b> radon [222.02]
7 <b>Fr</b> francium [223.0197]	88 <b>Ra</b> radium [226.0254]	** Actinoids 89-103	104 <b>Rf</b> rutherfordium [261.12]	105 <b>Db</b> dubnium [268.13]	106 <b>Sg</b> seaborgium [271.13]	107 <b>Bh</b> bohrium [278]	108 <b>Hs</b> hassium [277.15]	109 <b>Mt</b> meitnerium [276.15]	110 <b>Ds</b> darmstadtium [281.16]	111 <b>Rg</b> roentgenium [280.16]	112 <b>Cn</b> copernicium [285.17]	113 <b>Uut</b> ununtrium [284.18]	114 <b>Fl</b> flerovium [289.19]	115 <b>Uup</b> ununpentium [288.19]	116 <b>Lv</b> livermorium [293]	117 <b>Uus</b> ununseptium [294]	118 <b>Uuo</b> ununoctium [294]

\* Lanthanoids

57 <b>La</b> lanthanum 138.90547(7)	58 <b>Ce</b> cerium 140.116(1)	59 <b>Pr</b> praseodymium 140.90765(2)	60 <b>Nd</b> neodymium 144.242(3)	61 <b>Pm</b> promethium [144.91]	62 <b>Sm</b> samarium 150.36(2)	63 <b>Eu</b> europium 151.964(1)	64 <b>Gd</b> gadolinium 157.25(3)	65 <b>Tb</b> terbium 158.92535(2)	66 <b>Dy</b> dysprosium 162.500(1)	67 <b>Ho</b> holmium 164.93032(2)	68 <b>Er</b> erbium 167.259(3)	69 <b>Tm</b> thulium 168.9342(12)	70 <b>Yb</b> ytterbium 173.054(5)	71 <b>Lu</b> lutetium 174.9668(1)
89 <b>Ac</b> actinium [227.03]	90 <b>Th</b> thorium 232.03806(2)	91 <b>Pa</b> protactinium 231.03588(2)	92 <b>U</b> uranium 238.02891(3)	93 <b>Np</b> neptunium [237.0482]	94 <b>Pu</b> plutonium [244.0642]	95 <b>Am</b> americium [243.0614]	96 <b>Cm</b> curium [247.0704]	97 <b>Bk</b> berkelium [247.0703]	98 <b>Cf</b> californium [251.0796]	99 <b>Es</b> einsteinium [252.0829]	100 <b>Fm</b> fermium [257.0951]	101 <b>Md</b> mendelevium [258.0996]	102 <b>No</b> nobelium [259.1009]	103 <b>Lr</b> lawrencium [262.11]

\*\* Actinoids





# SHE-Factory

Наработка изотопов:  
Cm-248  
Bk-249  
Cf-251

**Повышение в  
10 раз**

Новый ускоритель  
Высоко  
интенсивные  
пучки: Ca-48  
Ti-50  
Ni-64

**Фактор 10-20**

**Зависит  
от прочности  
мишени**

SC- сепаратор  
& позиционные  
детекторы

**Фактор 3-5  
Зависит  
от интеллекта**

From Yuri Oganessian. ARIS 2014, June 5, 2014 in Tokyo, Japan



# SHE - фабрика

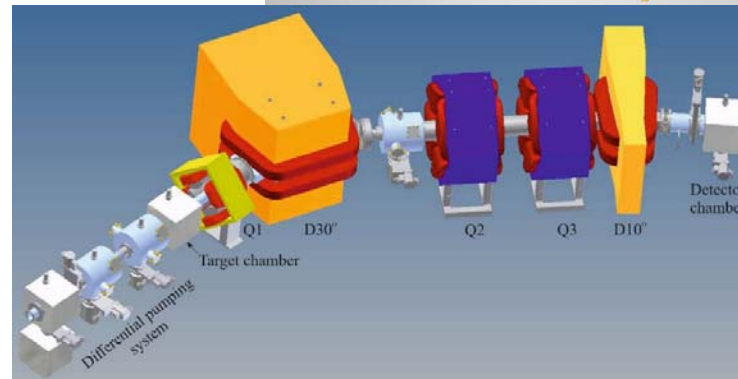
- 2016: Завершение строительства здания и монтаж циклотрона
- 2017: Тестирование пучков
- 2018: Первые эксперименты



## Циклотрон DC-280

### Новые установки:

- Новый газо-наполненный сепаратор
- пре-сепаратор для химии SHE
- Сепаратор SHELS
- Etc.





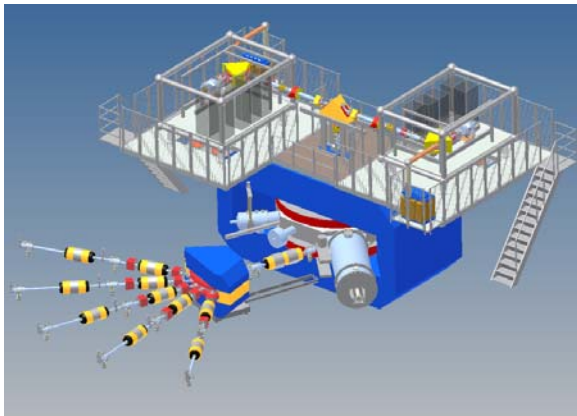


DC-280  
SHE factory

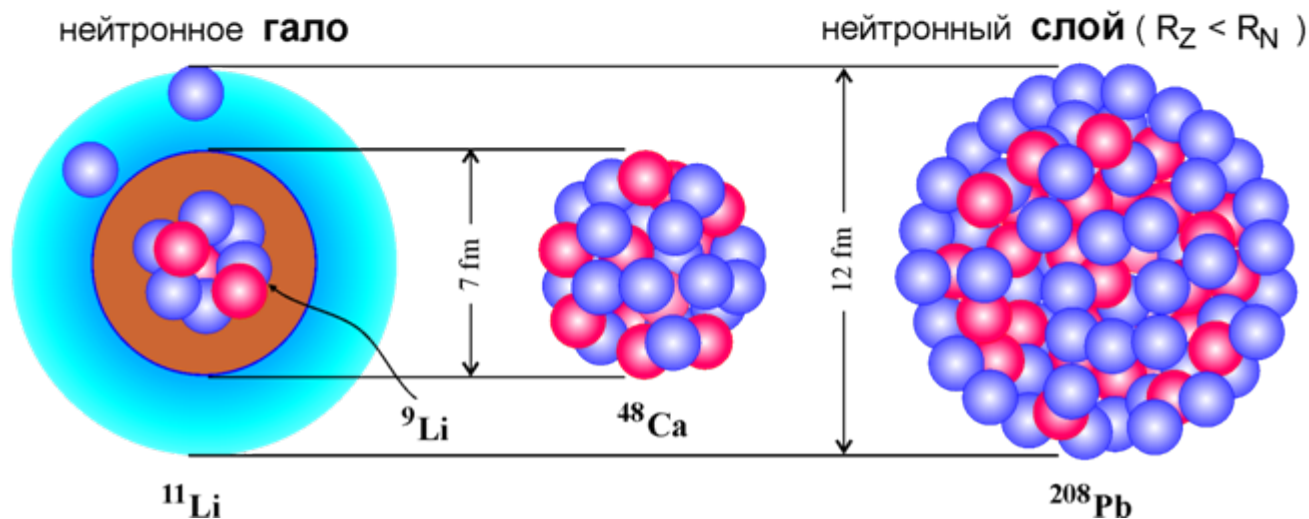
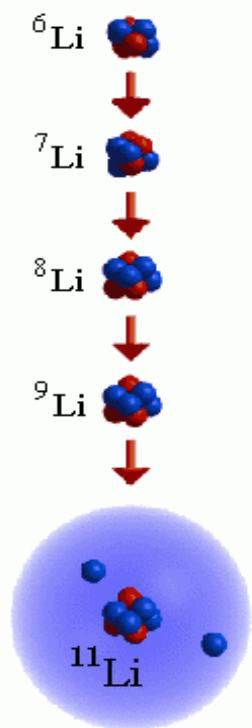
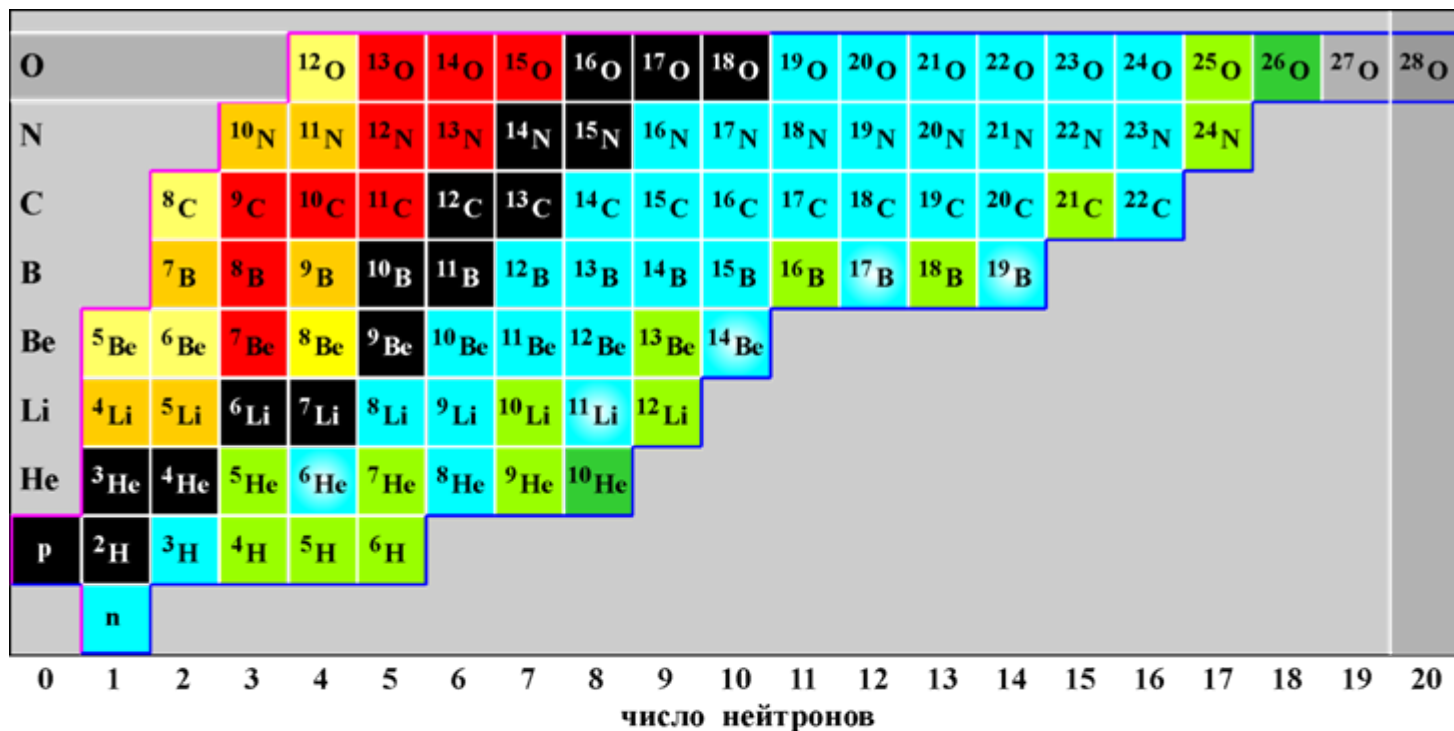
U-400  
Heavy and superheavy  
nuclei

U-400M  
Light exotic  
nuclei

IC-100  
Applied re



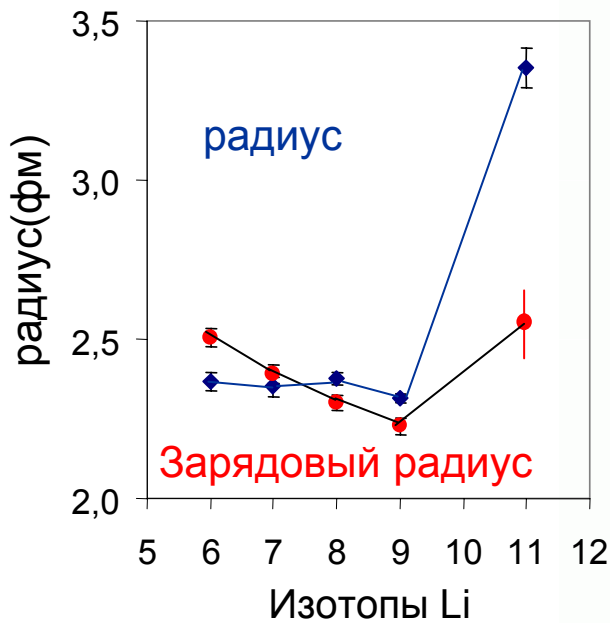
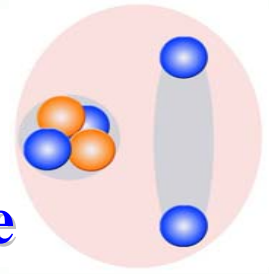
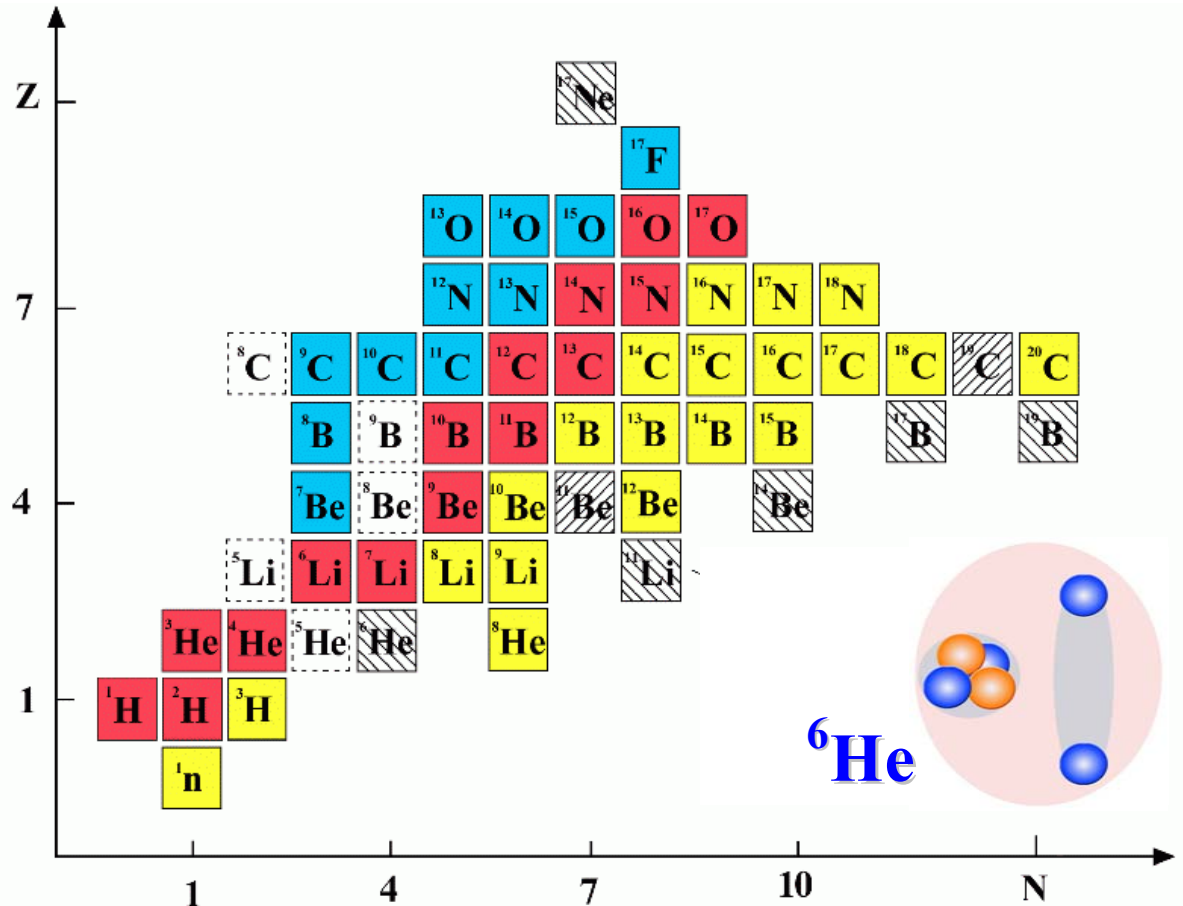
# Ядра на границе стабильности









# Ядра на границе стабильности

## Нейтронное гало



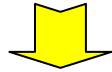
-  **Neutron halo**
-  **Borromean**
-  **Stable (~ 200)**
-  **Unstable (> 6000)**

# Ядра на границе стабильности

## Стабильные ядра

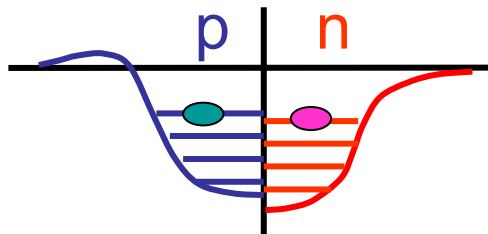
$$N / Z \sim 1 - 1.5$$

$$\varepsilon_S \sim 6 - 8 \text{ MeV}$$



$$\rho_0 \sim 0.16 \text{ fm}^{-3}$$

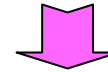
Протоны и нейтроны  
однородно перемешаны



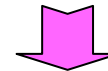
## Нестабильные ядра

$$N / Z \sim 0.6 - 4$$

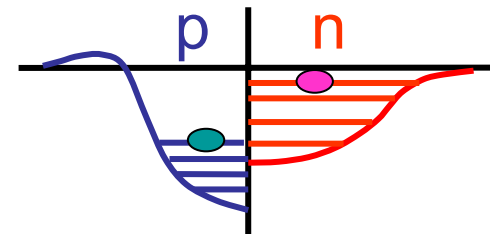
$$\varepsilon_S \sim 0 - 40 \text{ MeV}$$



Разъединение распределений  
протонов и нейтронов

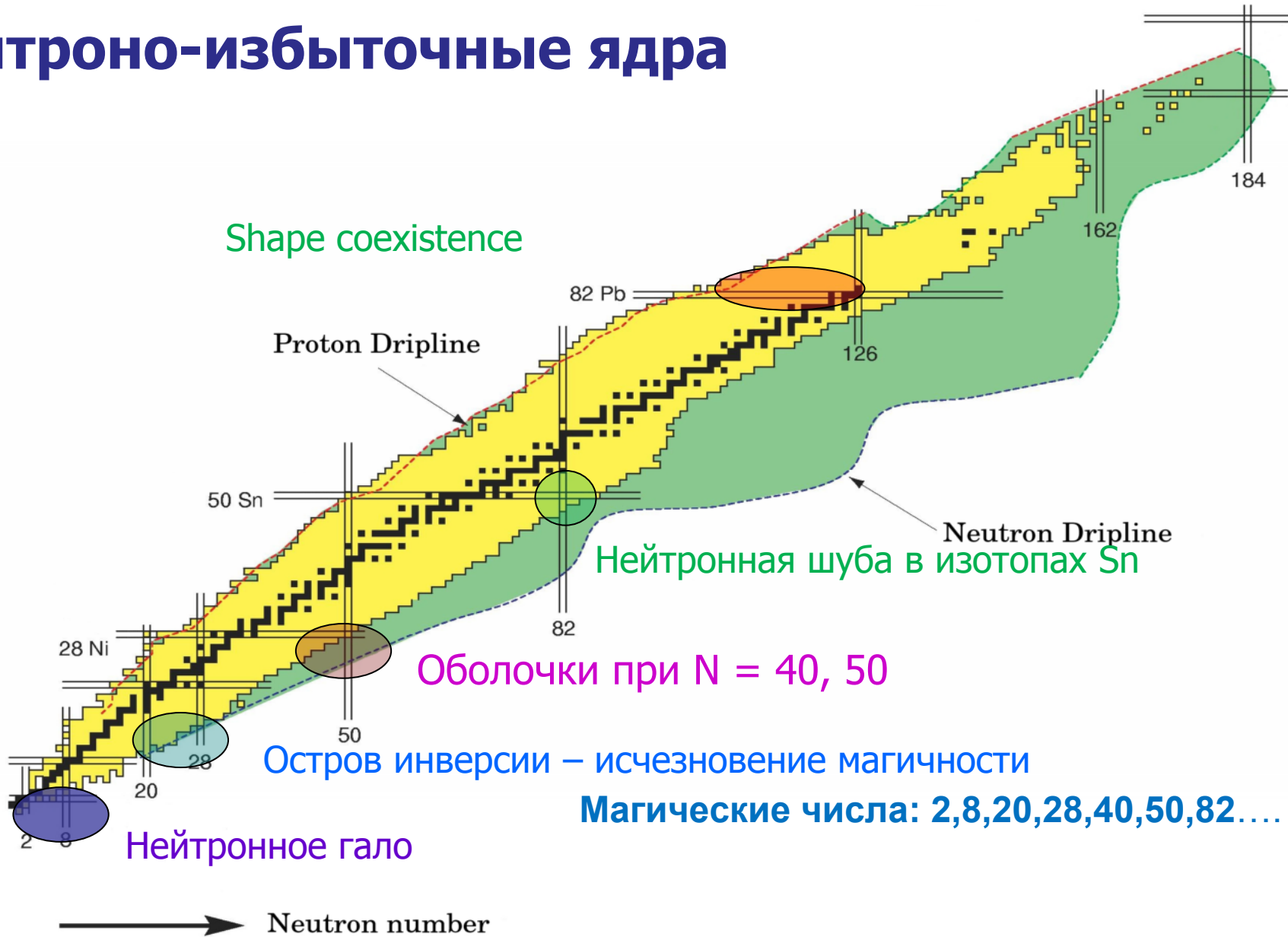


нейтронное гало и  
нейтронная шуба



# Нейтронно-избыточные ядра

Proton number  
↑



# Exotic nuclei

