



Ядерная физика и Человек

# Сверхтяжелые элементы

# 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 131.29(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 162.50(1)	67 <b>Ho</b> holmium 164.93032(2)	68 <b>Er</b> erbium 167.259(3)	69 <b>Tm</b> thulium 168.93421(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)
---	--	---	---

# Распространенность нуклидов во Вселенной

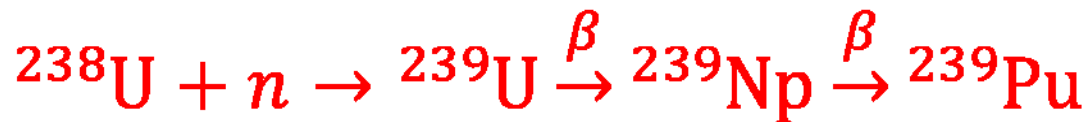
Распространенность Si принята равной  $10^6$ .



# АКТИНОИДЫ

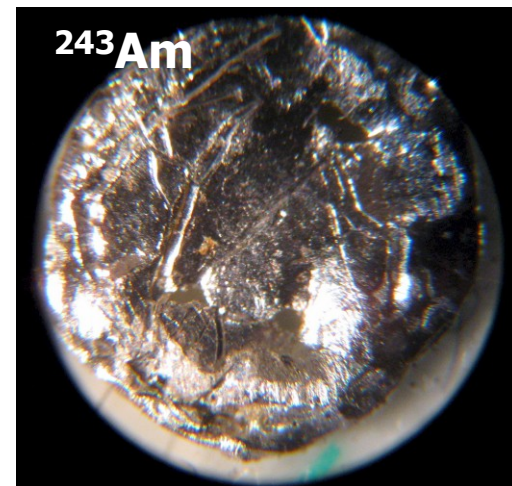
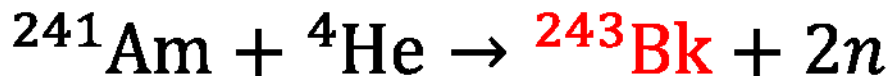
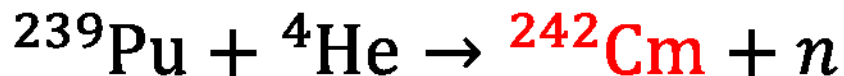
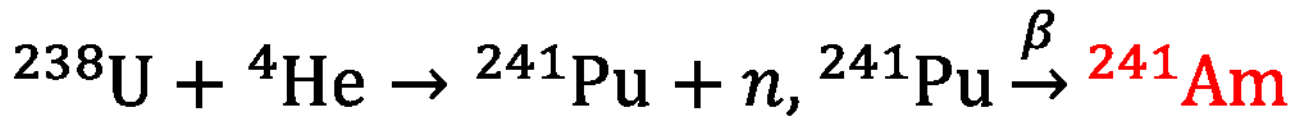
1940 г.  ${}_{93}\text{Np}$  Нептуний (Макмиллан, Абельсон)

1941 г.  ${}_{94}\text{Pu}$  Плутоний (Макмиллан, Сиборг, Кеннеди, Валь)



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

1949 г.  ${}_{97}\text{Bk}$  Берклий,  ${}_{98}\text{Cf}$  Калифорний  
(Г.Т. Сиборг, А. Гиорсо и др. (Беркли, США))



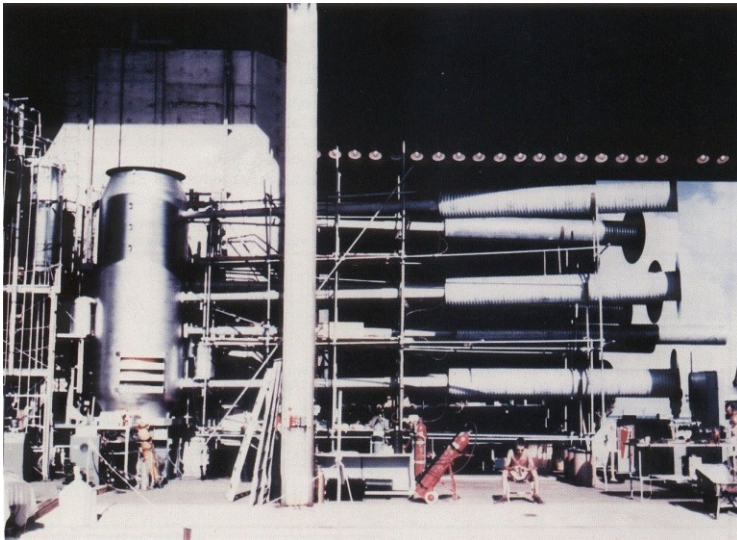
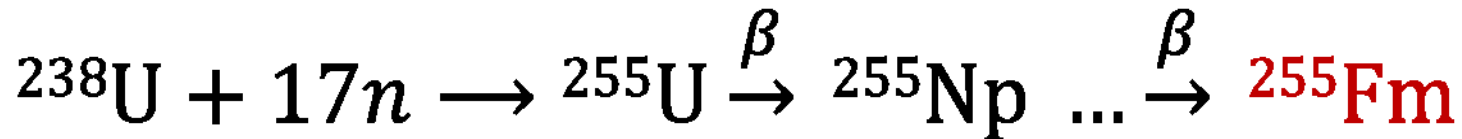
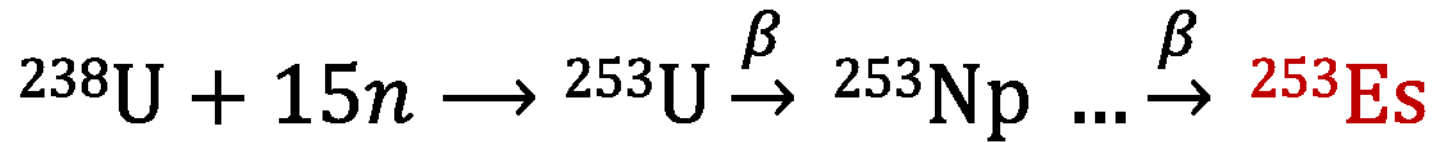
**Нобелевская премия по химии**

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

# АКТИНОИДЫ

1952 г. А. Гиорсо и др. (Беркли, США)

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



Наиболее  
долгоживущие изотопы

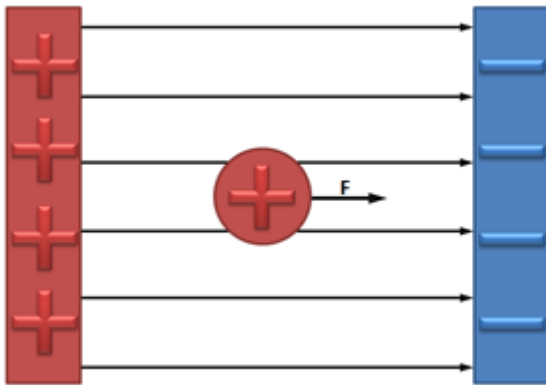
Изотоп	$T_{1/2}$
${}^{252}\text{Es}$	472 дня
${}^{257}\text{Cf}$	100 дней

1 ноября 1952 года. Атолл Эниветок.  
Айви Майк



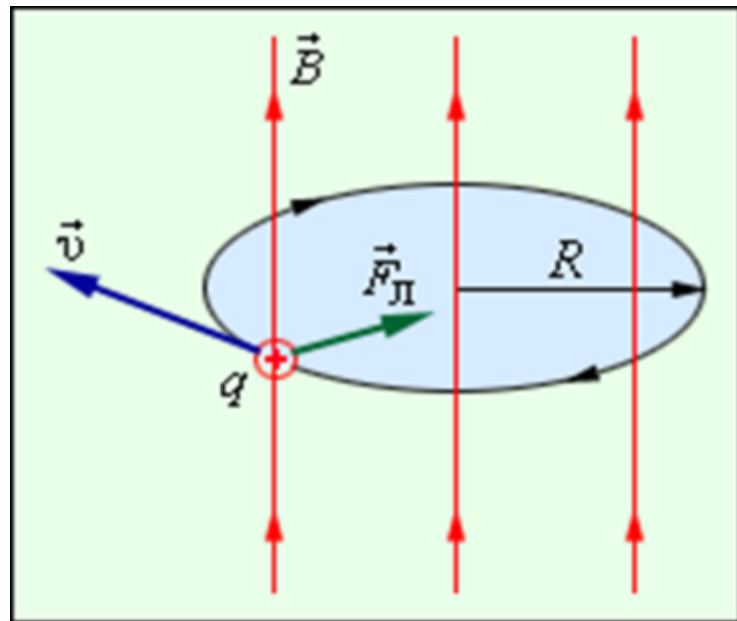
# Движение частиц в электромагнитном поле

Электрическое поле



$$E_{\text{кин}} = q(\varphi_2 - \varphi_1)$$

Магнитное поле



$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$$



# Циклотрон



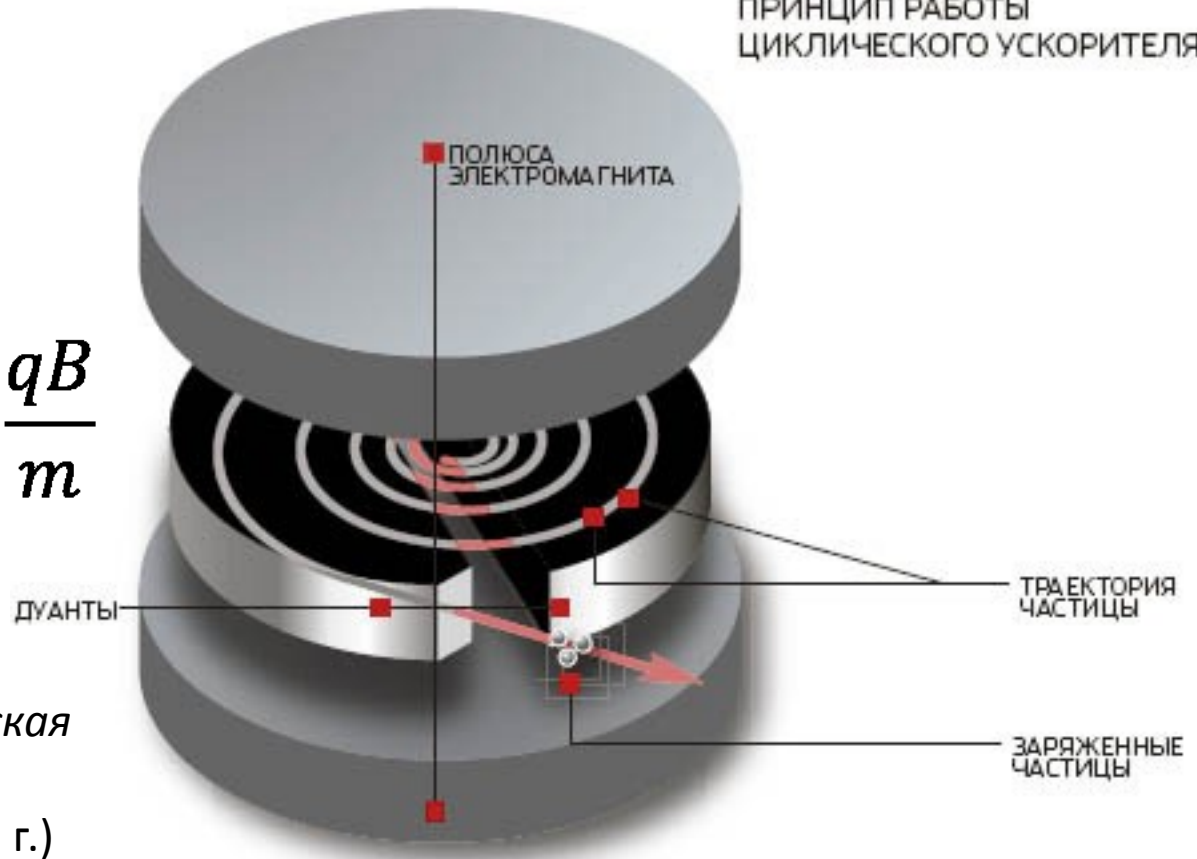
1939

1929 г. Э. Лоуренс предложил идею циклотрона

1932 г.  $E_{кин}(p) = 1,2 \text{ МэВ}$  ( $D = 25 \text{ см}$ )



ПРИНЦИП РАБОТЫ  
ЦИКЛИЧЕСКОГО УСКОРИТЕЛЯ



$$\omega = \frac{v}{R} = v \frac{qB}{mv} = \frac{qB}{m}$$

Максимальная кинетическая энергия протонов

$E_{кин}(p) = 22 \text{ МэВ}$  (1939 г.)

# Трансфермиевые элементы

Элемент	Год	Лаборатория	Реакция
<b><sup>101</sup>Md</b> Менделевий	1955	Беркли, США	$^{253}\text{Es} + ^4\text{He} \rightarrow ^{256}\text{Md} + n$
<b><sup>102</sup>No</b> Нобелий	1963	Дубна, СССР	$^{248}\text{Cm} + ^{13}\text{C} \rightarrow$ $\rightarrow ^{257}\text{No} + 4n$
<b><sup>103</sup>Lr</b> 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:

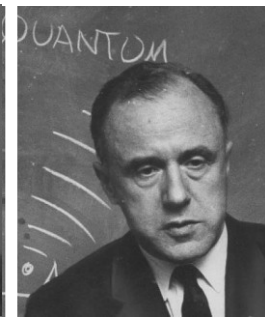
- Отсутствие в требуемых количествах мишеней из тяжелых трансурановых элементов.
- Существенное уменьшение по мере увеличения Z времени жизни изотопов, что значительно усложняет их идентификацию.

# Ядерное деление

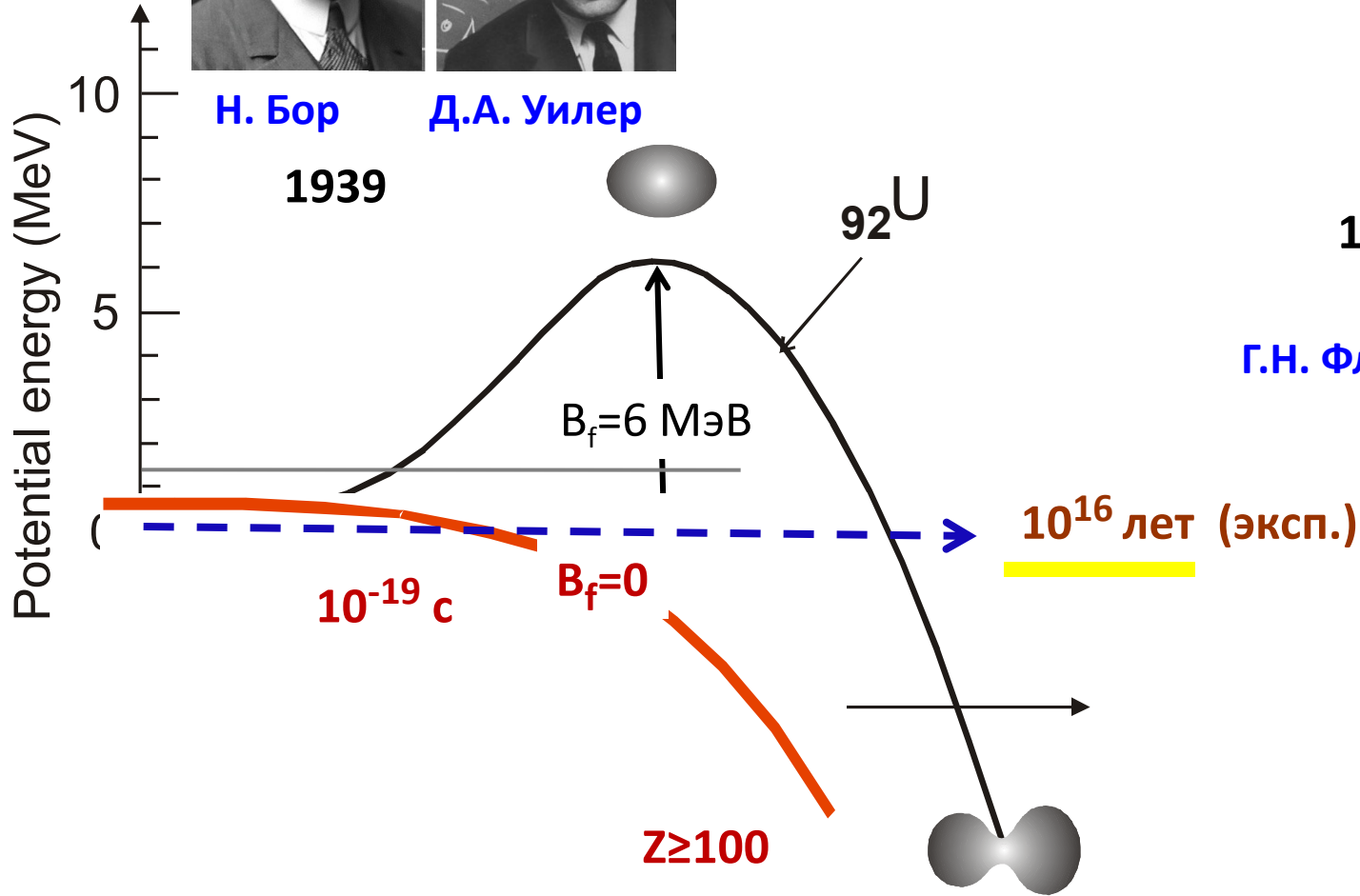


Н. Бор

1939



Д.А. Уилер

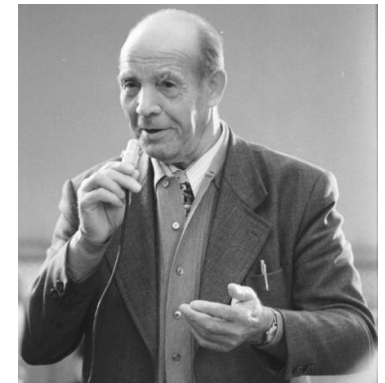


1940

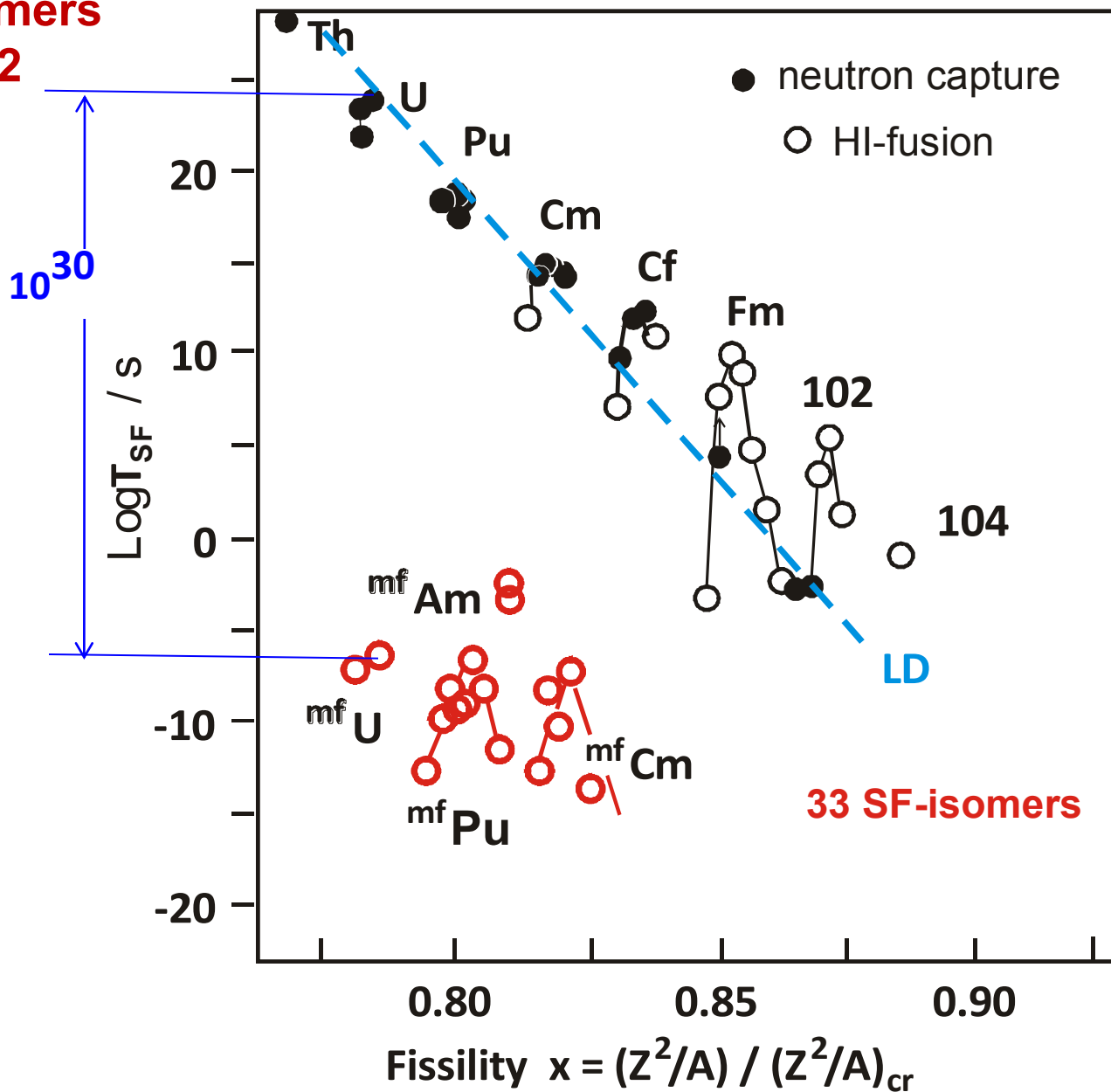
Г.Н. Флеров

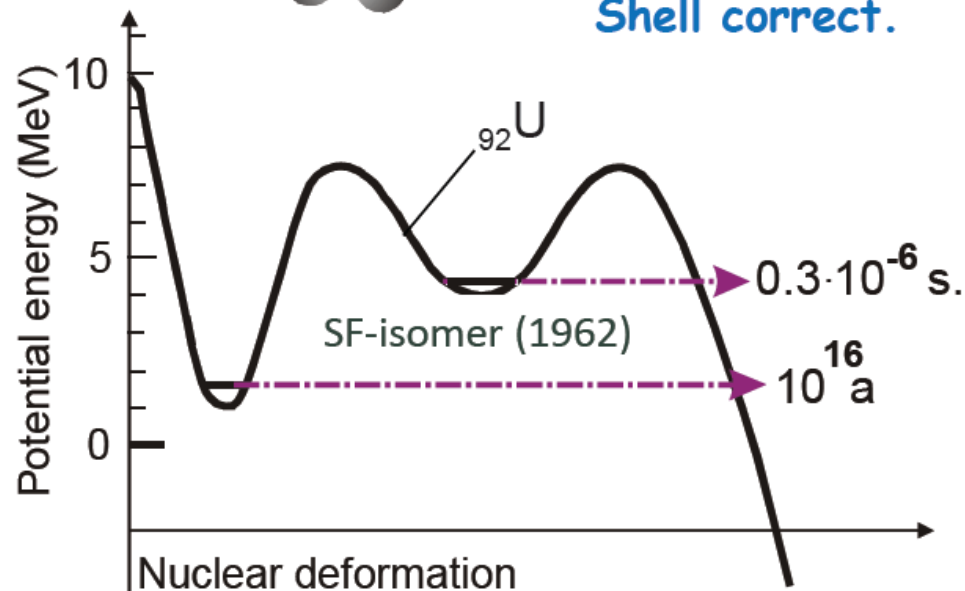
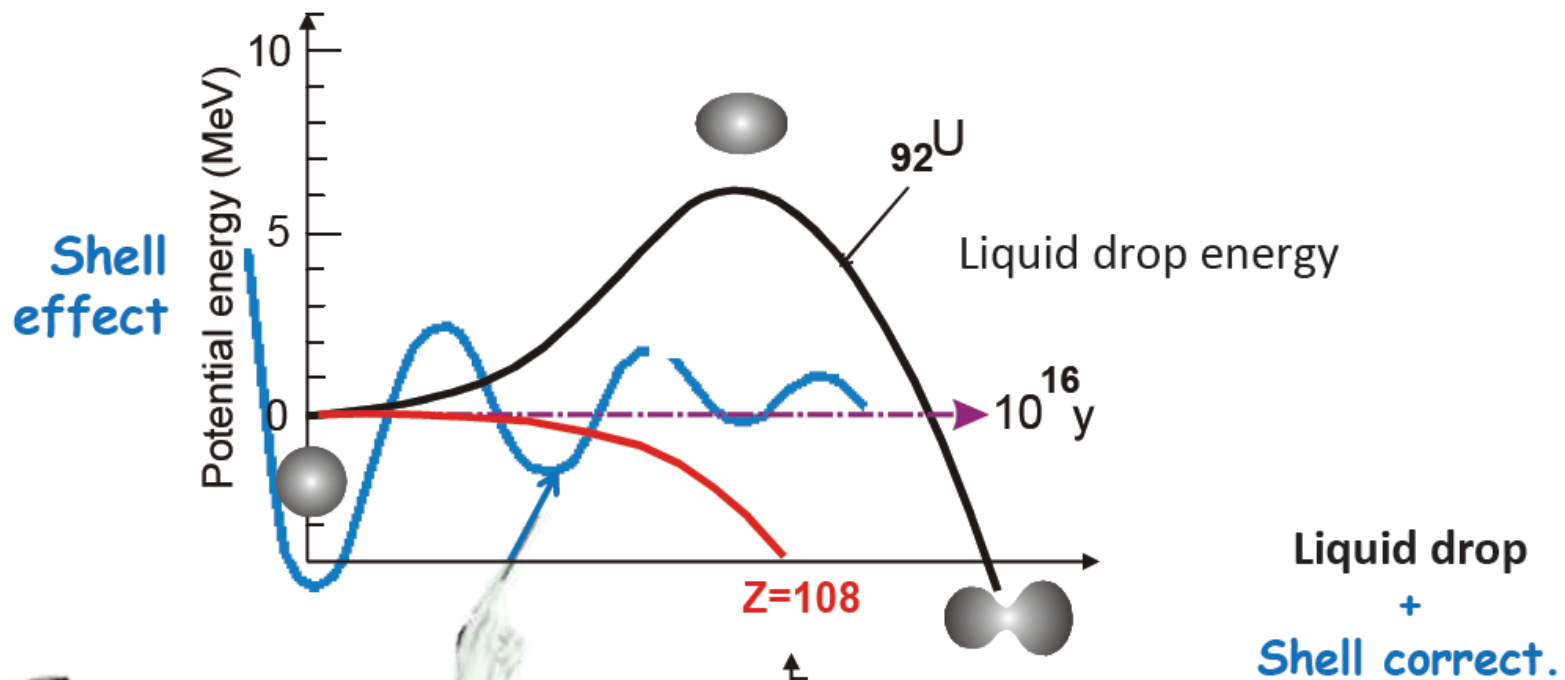


К.А. Петржак

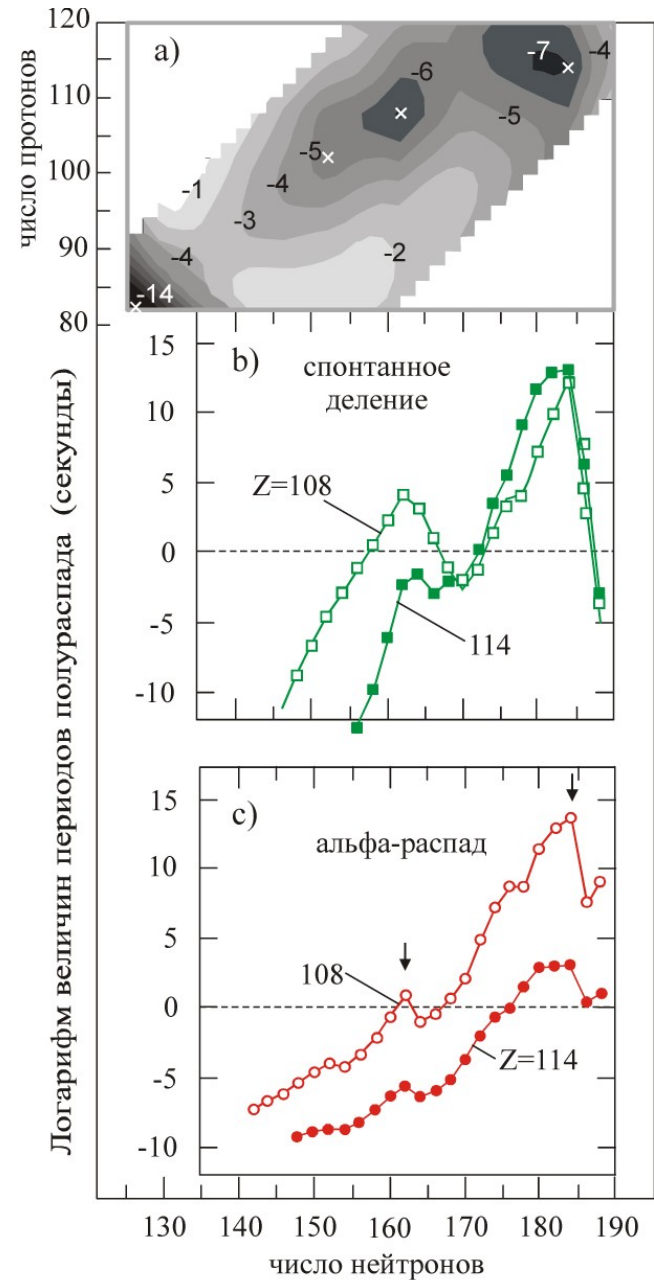
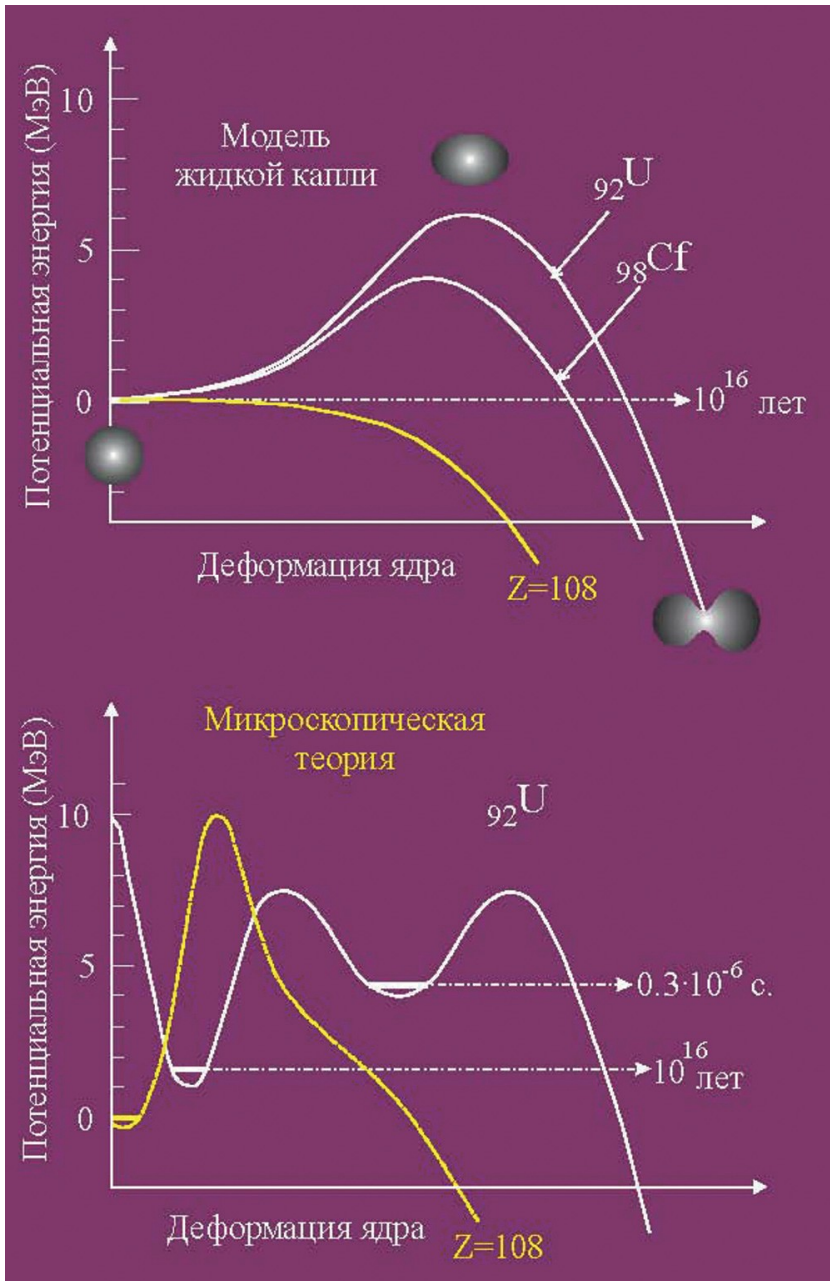


# Discovery SF isomers JINR, Dubna, 1962



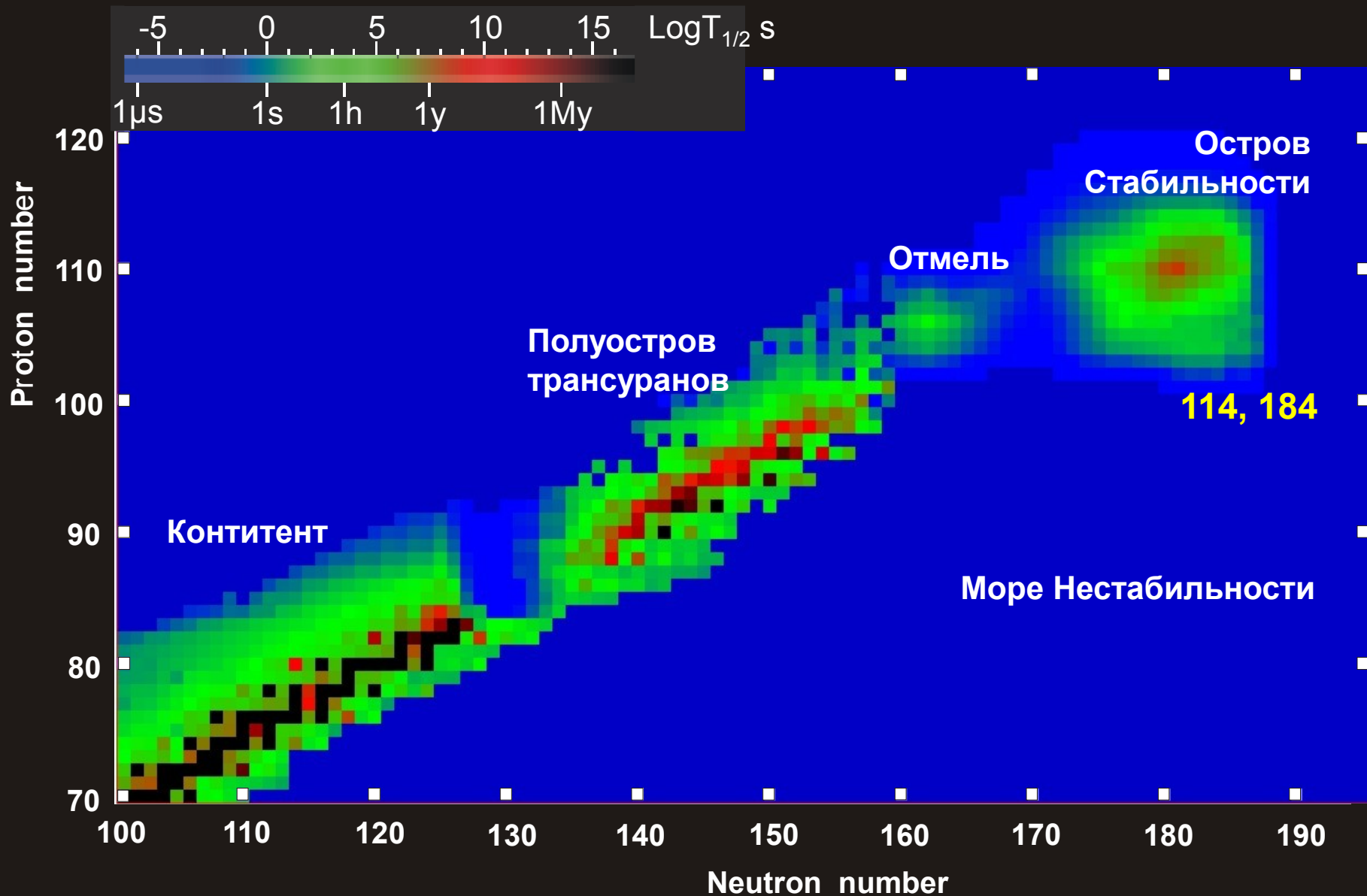


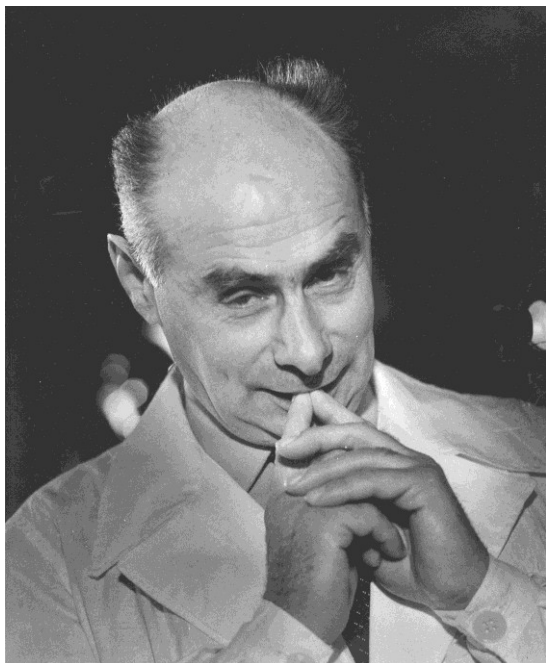
V.M. Strutinsky 1967



New lands

Макро-микроскопическая теория ядра

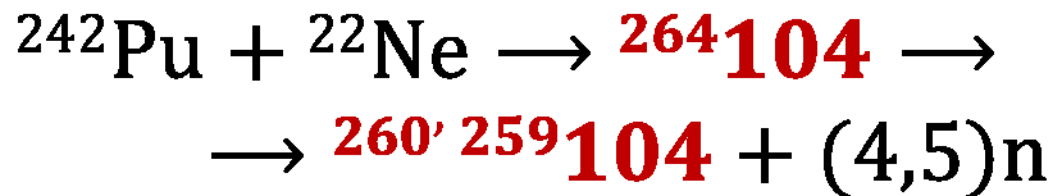




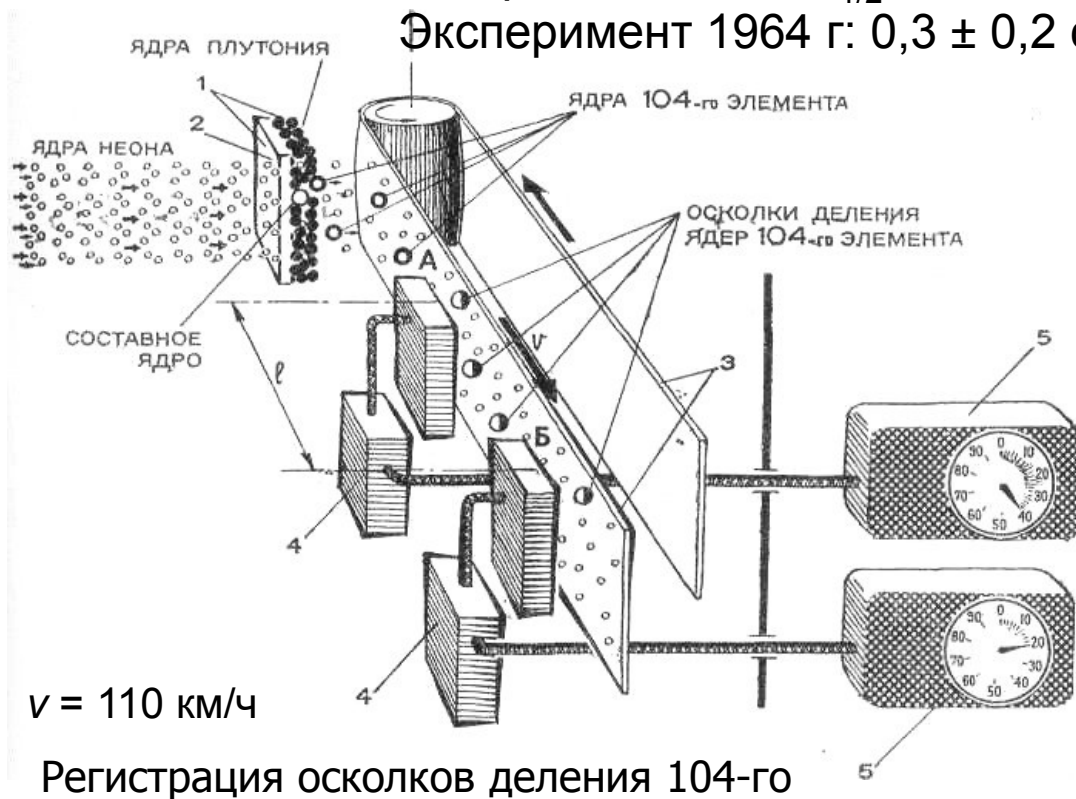
Георгий Николаевич  
**ФЛЕРОВ**

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:  $0,3 \pm 0,2 \text{ с}$







## ДИПЛОМ

НА ОТКРЫТИЕ

Явление образования радиоактивного изотопа элемента  
с атомным номером 106

В соответствии с Положением об открытиях, изобретениях и рационализаторских предложениях Государственный комитет СССР по делам изобретений и открытий установил, что граждане Союза Советских Социалистических Республик

ТРЕТЬЯКОВ ЮРИЙ ПЕТРОВИЧ  
ИЛЬИНОВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ  
ДЕМИН АЛЕКСАНДР ГЛЕБОВИЧ  
ПЛЕВЕ АНАТОЛИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ  
ТРЕТЬЯКОВА СВЕТЛАНА ПАВЛОВНА  
ПЕНИОНЖКЕВИЧ ЮРИЙ ЭРАСТОВИЧ  
ПЛОТКО ВАСИЛИЙ МАКСИМОВИЧ  
ИВАНОВ МИХАИЛ ПЕТРОВИЧ  
ДАНИЛОВ НИКОЛАЙ АНДРЕЕВИЧ  
КОРОТКИН ЮРИЙ СЕМЕНОВИЧ  
ФЛЕРОВ ГЕОРГИЙ НИКОЛАЕВИЧ  
ОГАНЕСЯН ЮРИЙ ЦОЛАКОВИЧ

На снимке — участники открытия шестого элемента (слева направо): кандидат физико-математических наук С. П. Третьякова, инженер Н. А. Данилов, механик В. М. Плотко, научный сотрудник Ю. С. Короткин, доктор физико-математических наук Ю. Ц. Оганесян, академик Г. Н. Флеров, кандидат физико-математических наук А. С. Ильинов, инженер Ю. П. Третьяков, научный сотрудник М. П. Иванов.



## Синтез сверхтяжелых элементов в Дубне

Год	Номер	Символ	Название
1966	102	No	Нобелий
1965	103	Lr	Лоуренсий
1964	104	Rf	Резерфордий
1970	105	Db	Дубний
1974	106	Sg	Сиборгий
1982	107	Bh	Борий
1984	108	Hs	Хассий
2003	109	Mt	Мейтнерий
	110	Ds	Дармштадтий
	111	Rg	Рентгений
	112	Cn	Коперниций
2003	113	Nh	Нихоний
1998	114	Fl	Флеровий
2003	115	Mc	Московский
2000	116	Lv	Ливерморий
2010	117	Ts	Теннессин
2002	118	Og	Оганесон

# Горячее слияние

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

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

# 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

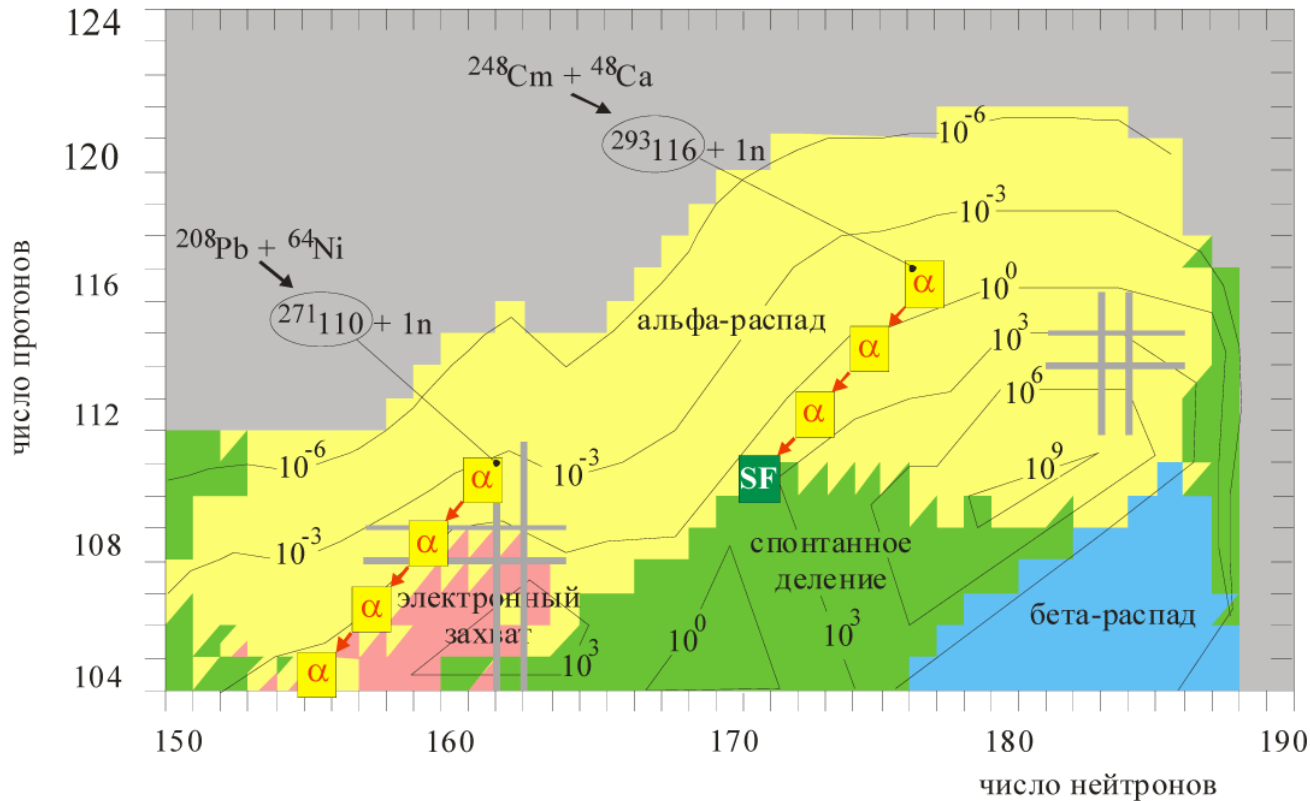
1974 г. Ю.Ц. Оганесян, А.Г. Дёмин и др. **Реакции «холодного слияния»**  
Мишень:  $^{208}\text{Pb}$  ( $Z=82, N=126$ ) или  $^{209}\text{Bi}$  ( $Z=83, N=126$ )  
Пучок:  $Z > 18$  ( $^{40, 48}\text{Ca}, ^{54}\text{Cr}, ^{58}\text{Fe}, ^{62, 64}\text{Ni}$  и др)  
Минимальная кинетическая энергия пучка  
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

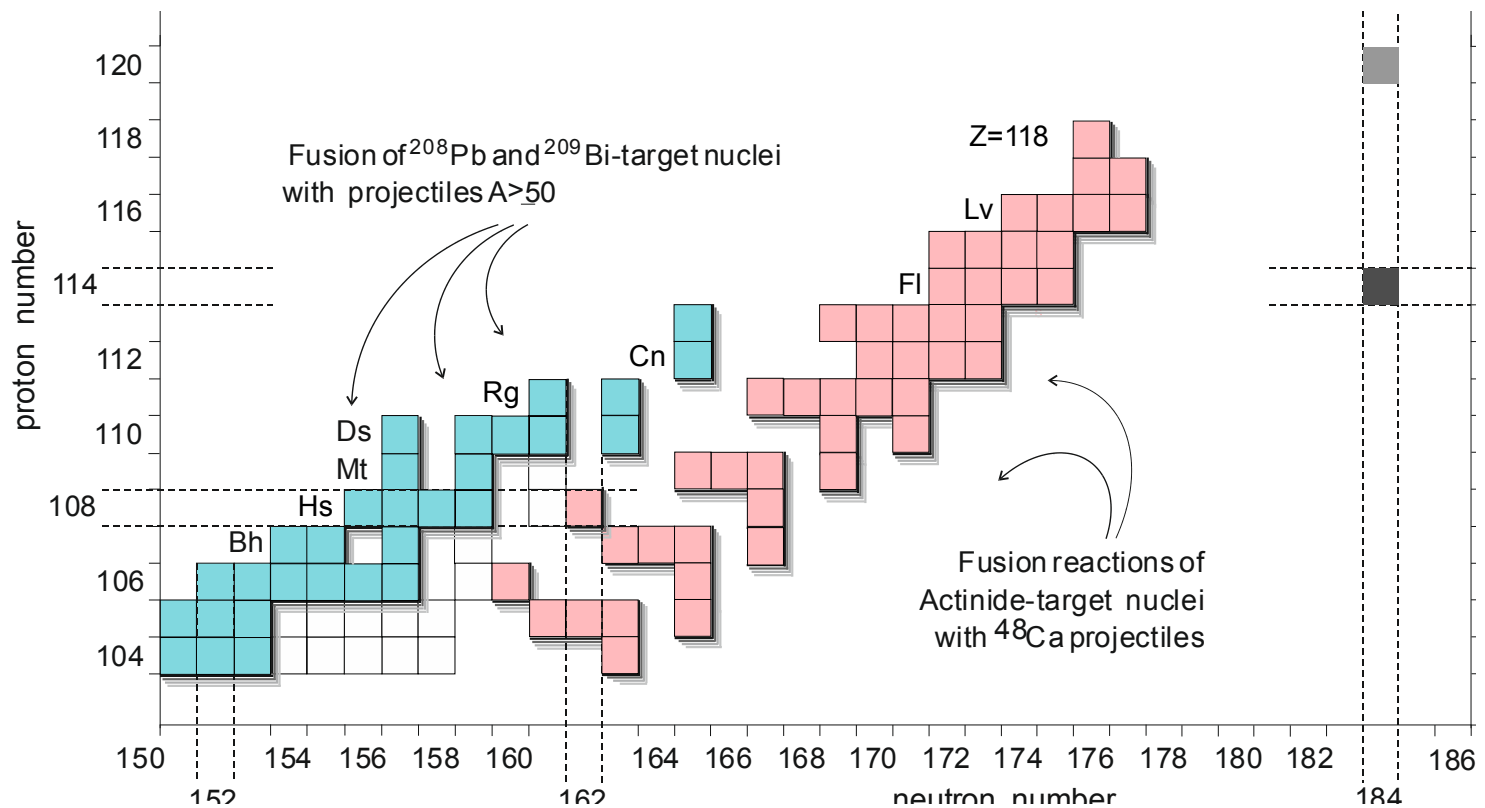


- Силы Кулона  $\sim Z_1 \times Z_2 < 2000$
- $^{48}\text{Ca}$  – дважды магическое ядро
- Энергия возбуждения компанд-ядра  $\sim 30\text{-}35$  МэВ
- Регистрация семейства альфа-распадов

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

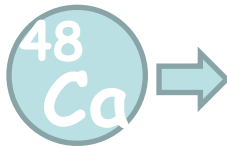
## Синтез элементов с $Z = 104 - 118$



# Реакция синтеза

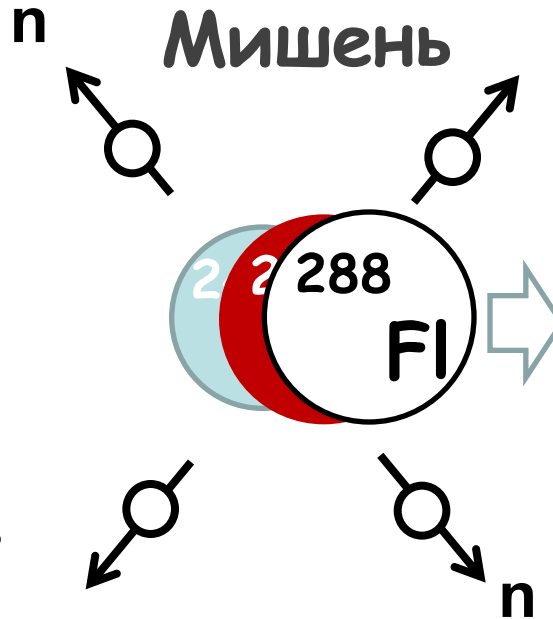
Трансурановые элементы, нарабатываемые в высоко-поточном ядерном реакторе

Из ускорителя



Пучок ионов

Редкий и очень дорогой изотоп Ca

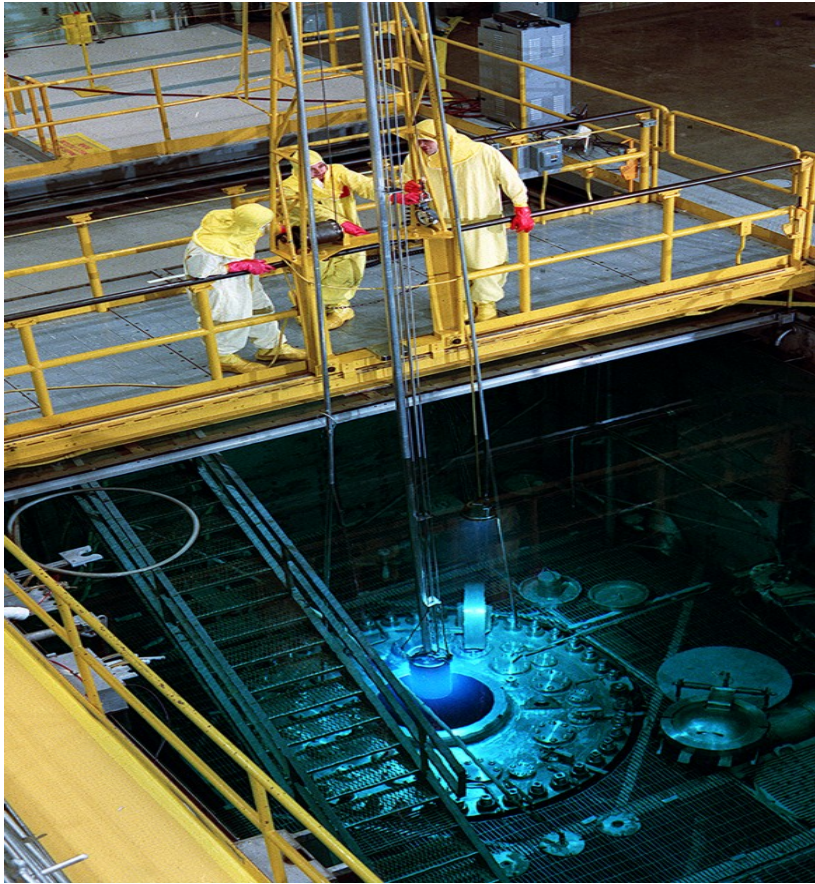


К сепаратору

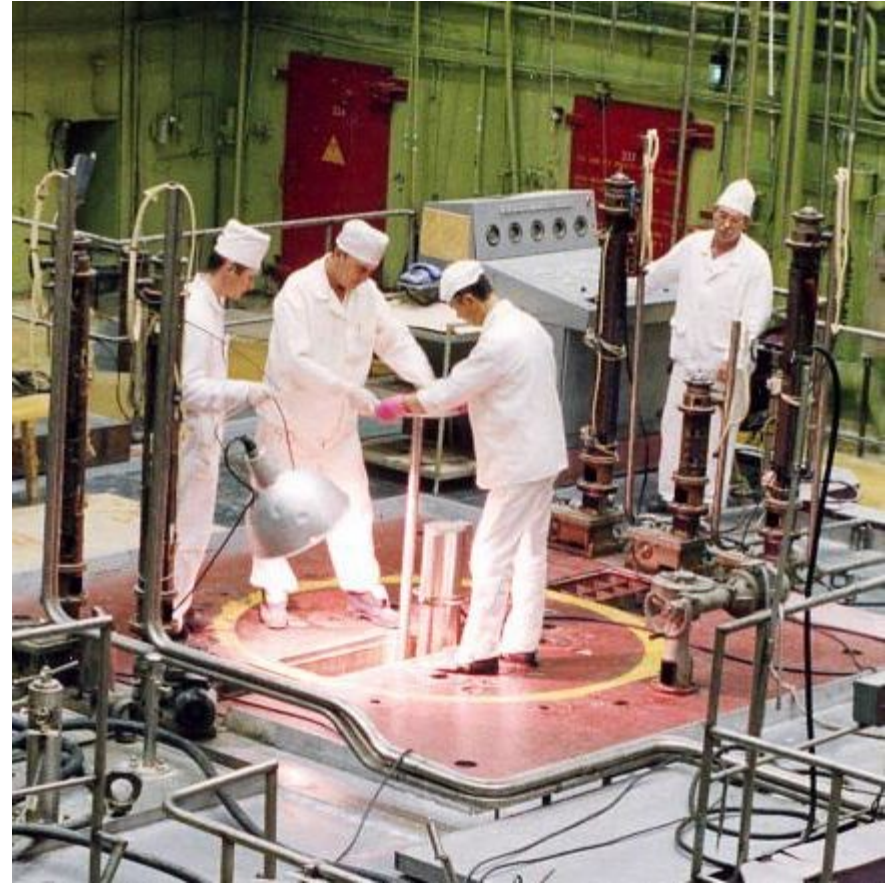
Слияние ядер

# Производство тяжелых изотопов

HFIR, ORNL, Oak Ridge, USA, 85 MW



СМ-3, IAR, Димитровград, РФ, 100 MW

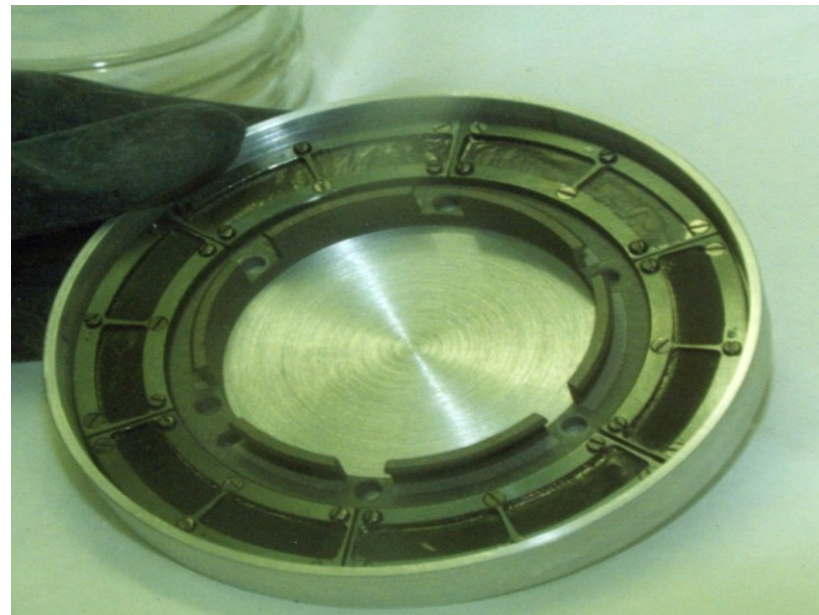


# Мишень

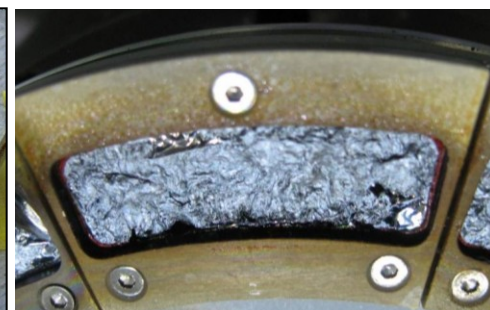


Work on mixed Cf  
at REDC ORNL

$^{249}\text{Cf}$ (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

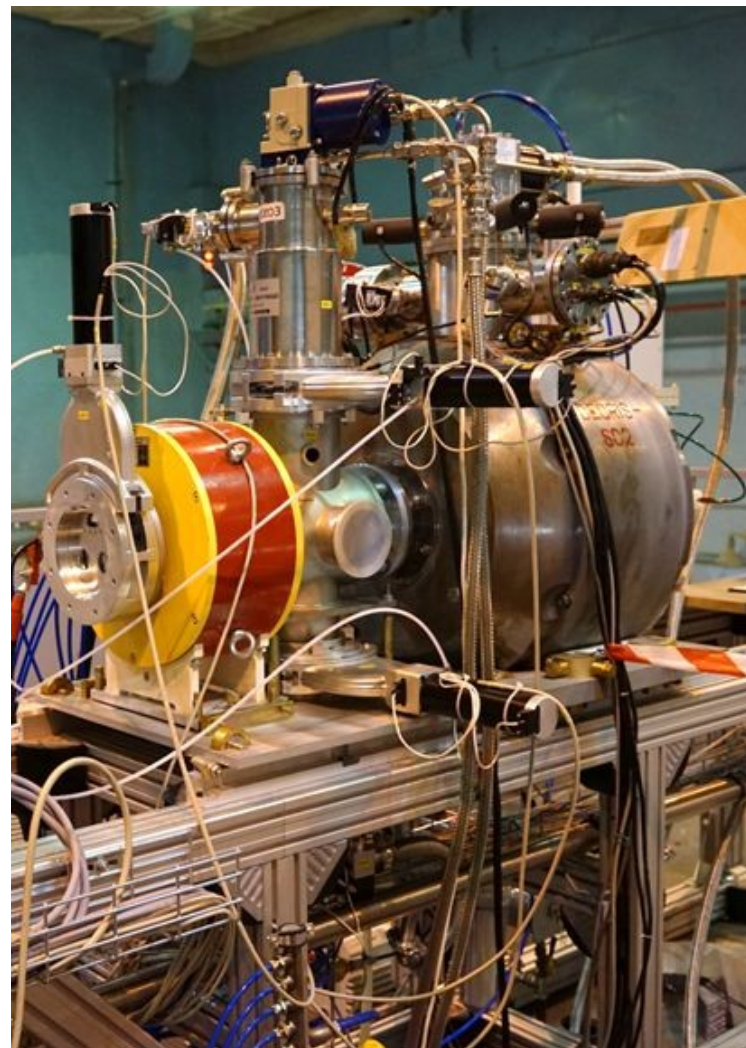
$^{197}\text{Au} \approx 0.045$  US\$

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

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

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

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



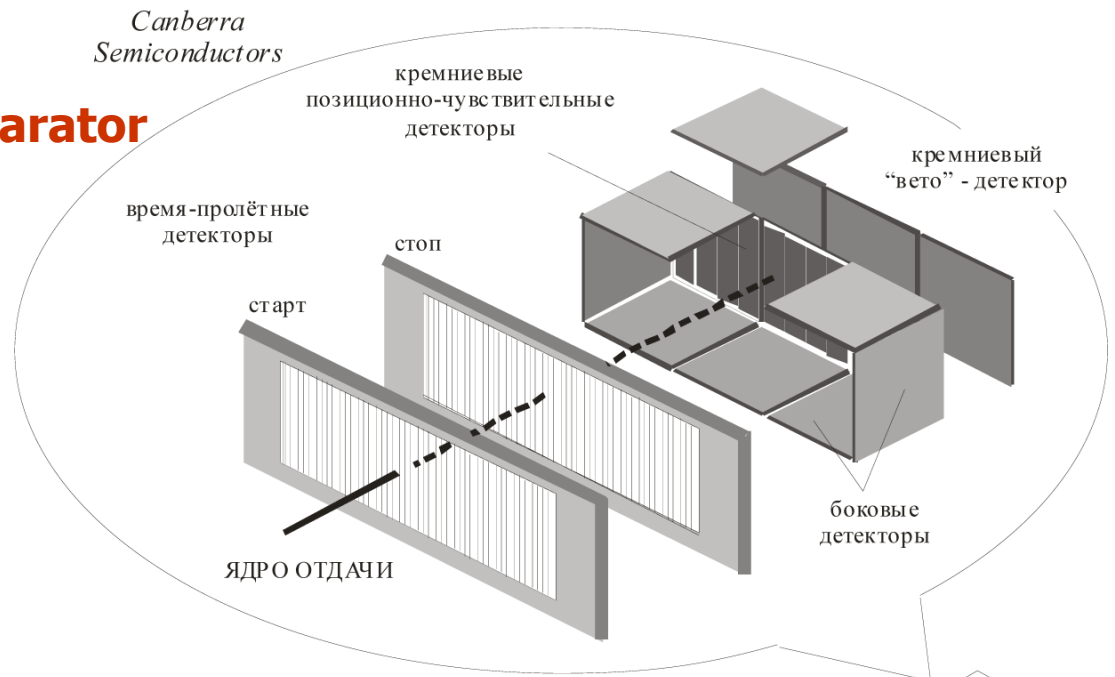
# Синтез сверхтяжелых элементов (U-400)



Пучки ускоренных ионов  $A = 4 - 209$   
с энергией  $3 - 29$  МэВ/нуклон  
Магнит 2100 тонн, диаметр 4 м  
Потребление энергии  $1,5$  МВт

## Dubna Gas-Filled Recoil Separator

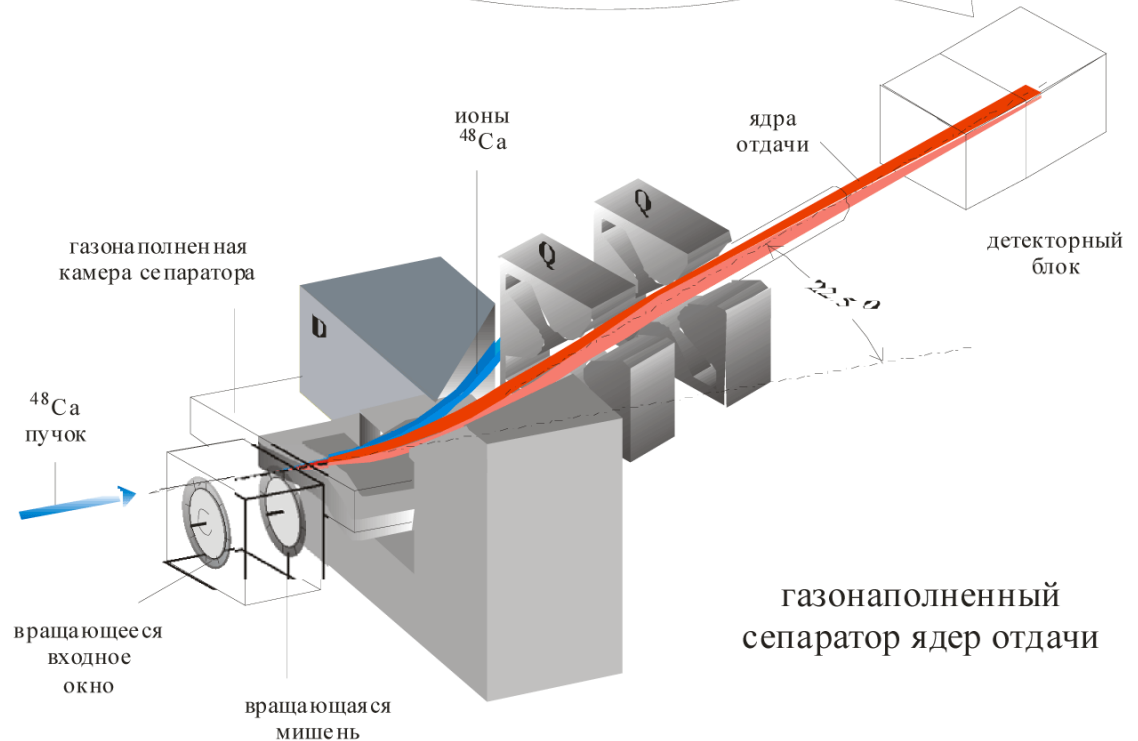
Газонаполненный  
Сепаратор  
(водород  $10^{-3}$  атм)



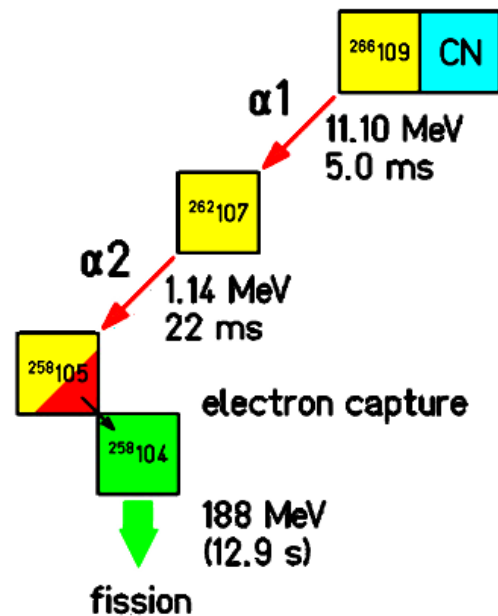
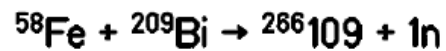
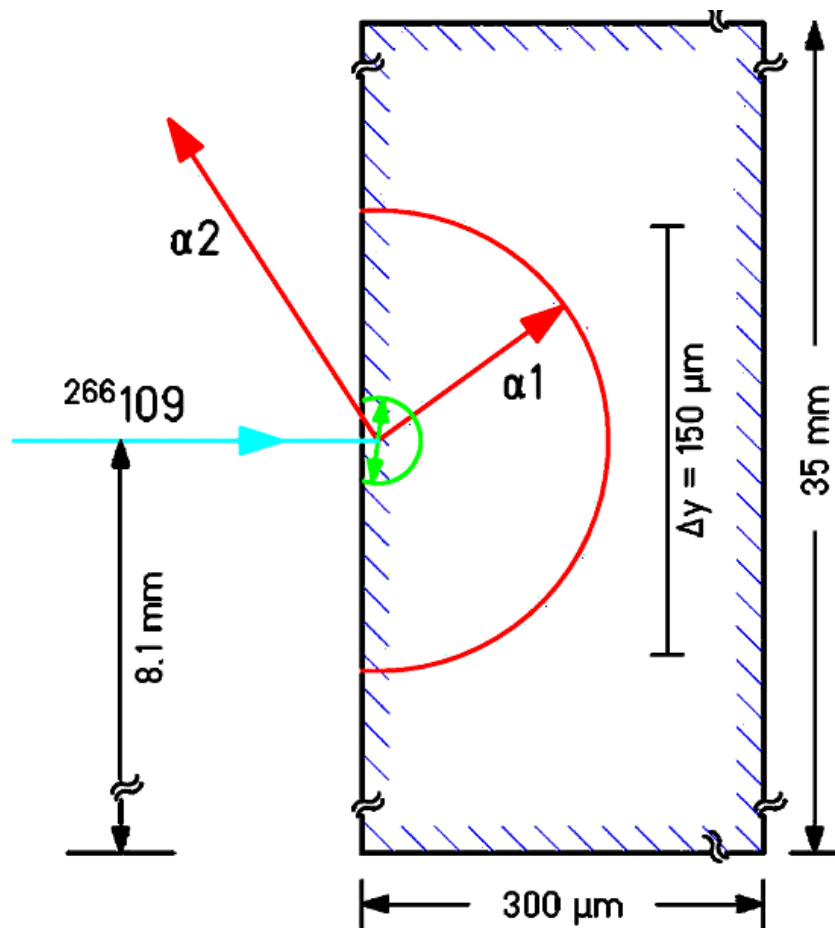
## Эффективность регистрации:

для  $\alpha$ -частиц 87%

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



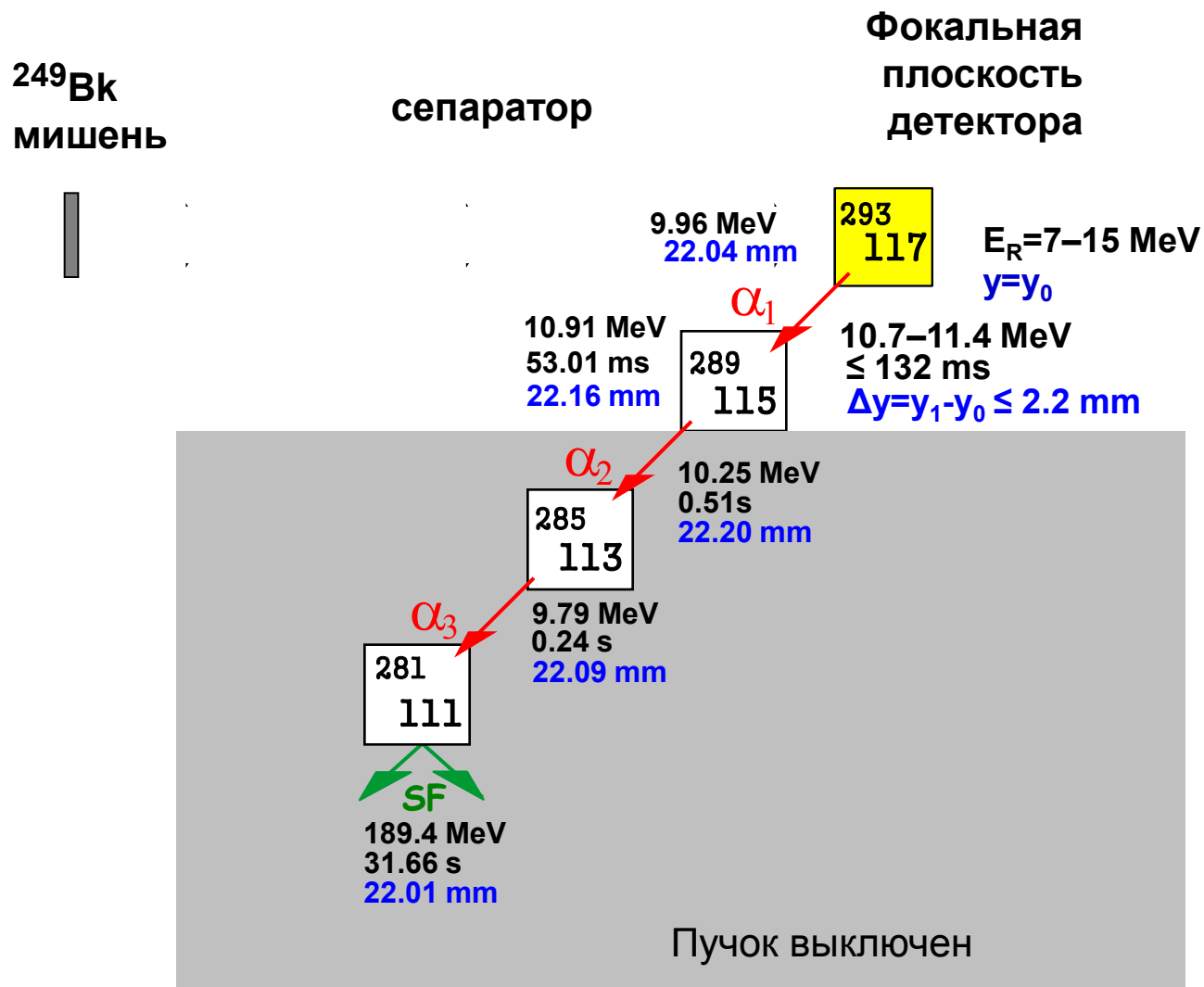
# Детектирование по альфа-распаду



date: 29-Aug-1982, time: 16:10 h

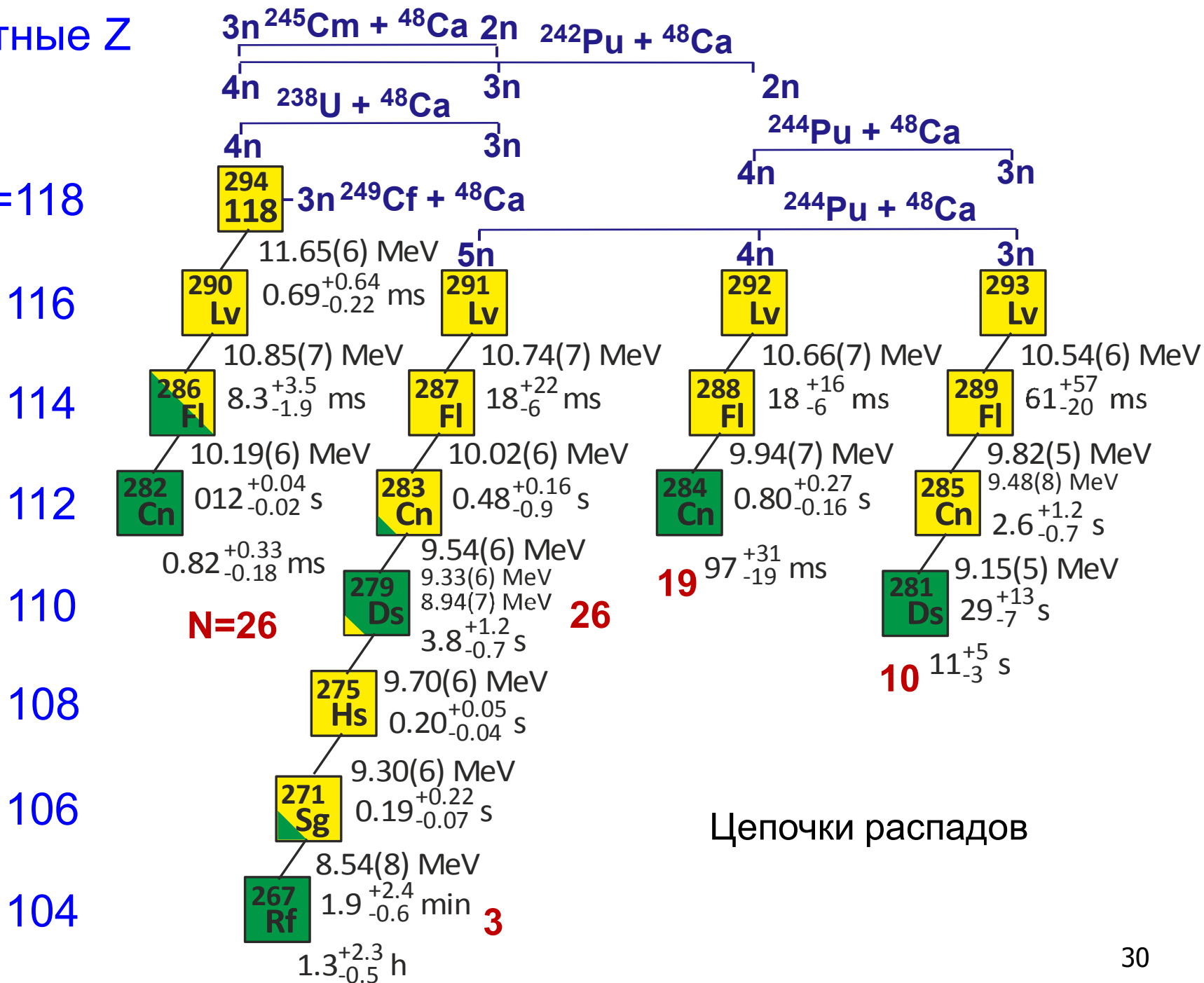
Detector: 80 mm × 35 mm × 300 μm  
 Pixel: 5 mm × 150 μm → 3700 pixels  
 $\Delta E_{\alpha}$ : 14 keV (FWHM)

# Низкофоновая схема детектирования



# Четные Z

Z=118

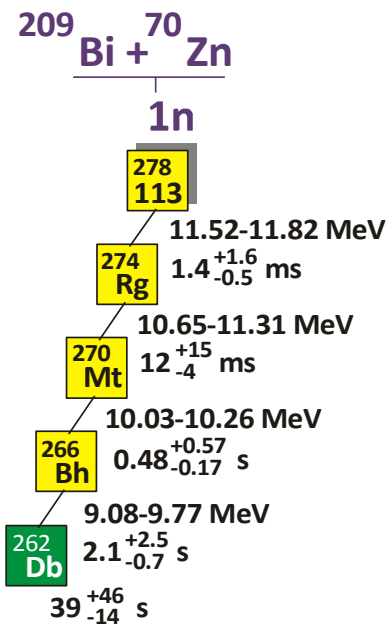


Цепочки распадов

# Нечетные Z

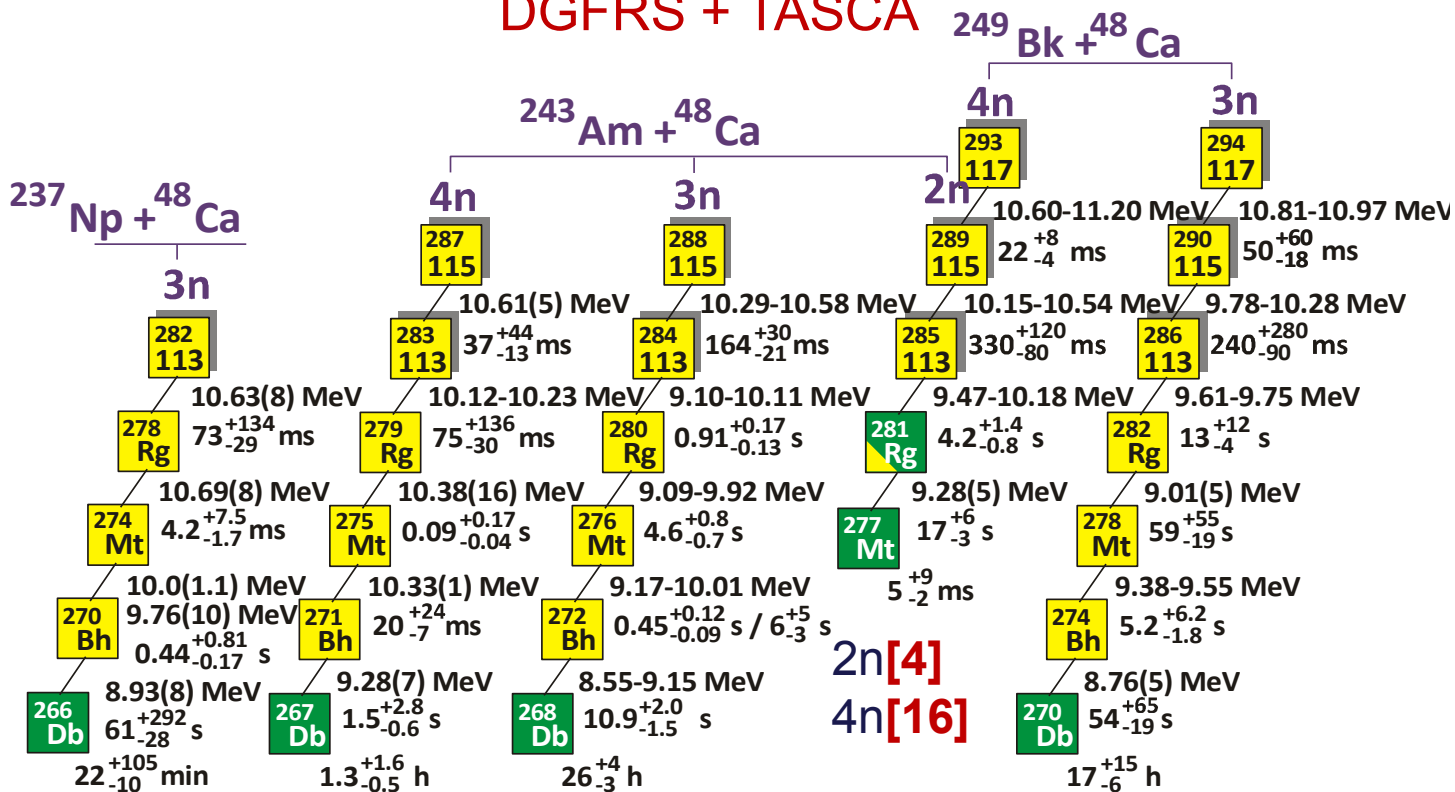
Июнь, 2013

GARIS



[3]

DGFRS + TASCA



[2]

[3]

[73]

[6]



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>	Флеровий <b>114</b>	(Московский) <b>115</b>	Ливерморий <b>116</b>	(Теннессин) <b>117</b>	(Оганесон) <b>118</b>
<b>(Nh)</b>	<b>Fl</b>	<b>(Mc)</b>	<b>Lv</b>	<b>(Ts)</b>	<b>(Og)</b>
(Nihonium)	Flerovium	(Moscovium)	Livermorium	(Tennessine)	(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 <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 <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 131.29(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 192.227(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 <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]

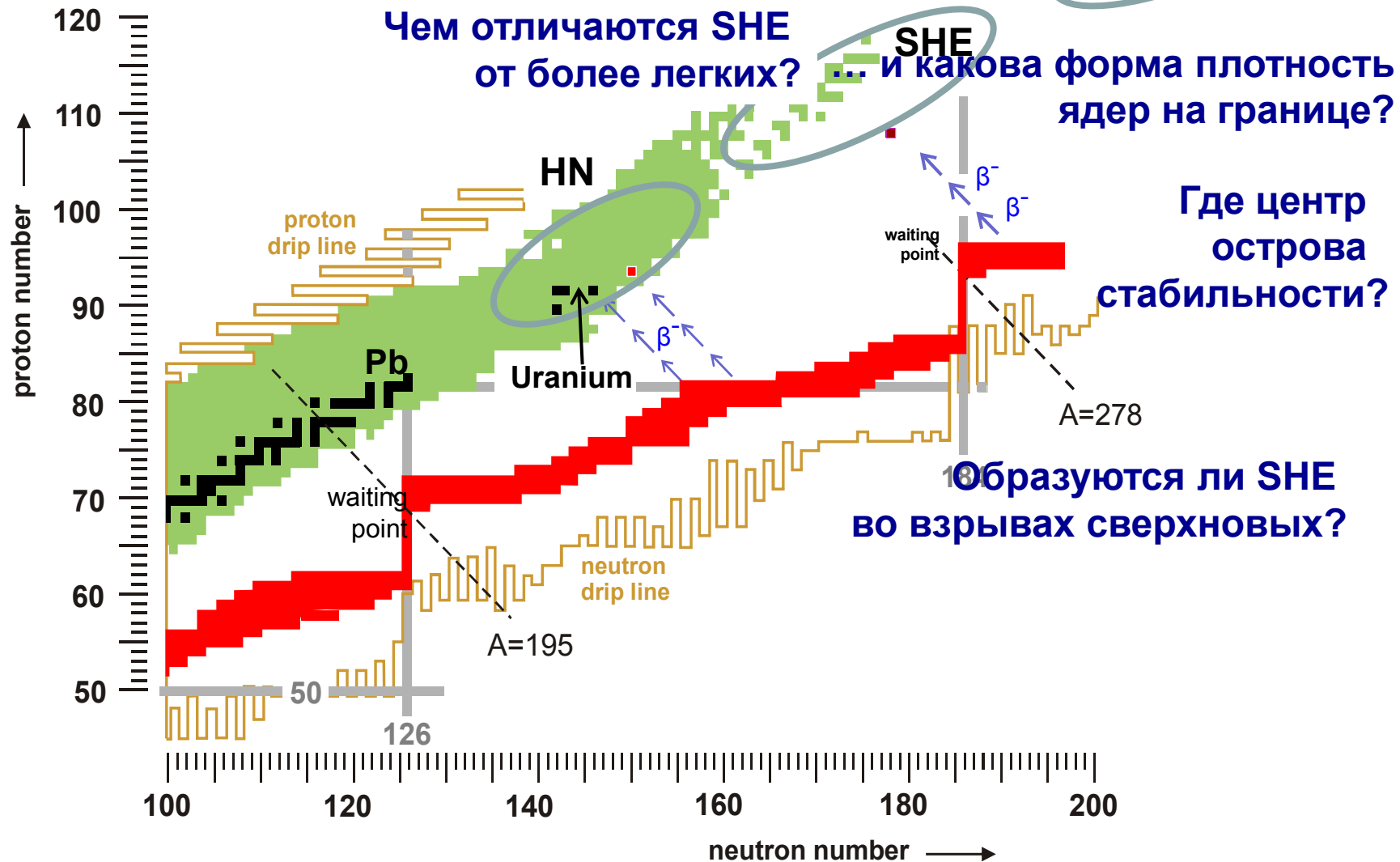
\* Lanthanoids

57 <b>La</b> lanthanum 138.90547(7)	58 <b>Ce</b> cerium 140.116(1)	58 <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 231.03688(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 [258.0986]	102 <b>No</b> nobelium [259.1009]	103 <b>Lr</b> lawrencium [262.11]

\*\* Actinoids

# Вопросы:

Где заканчиваются ядра?



Чем отличаются SHE от более легких?

... и какова форма плотности ядер на границе?

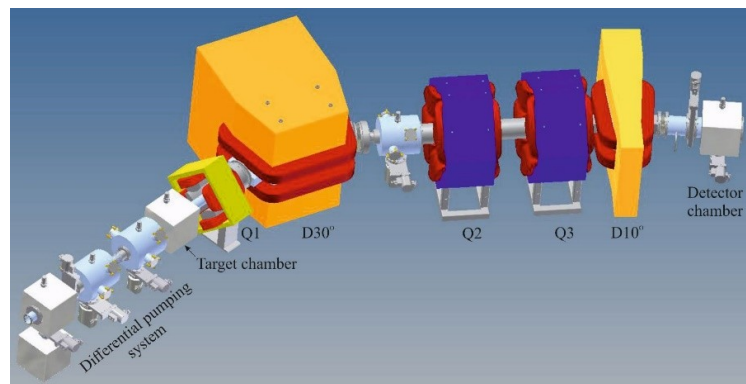
Где центр острова стабильности?

Образуются ли SHE во взрывах сверхновых?

# СНЕ - фабрика



Циклотрон DC-280



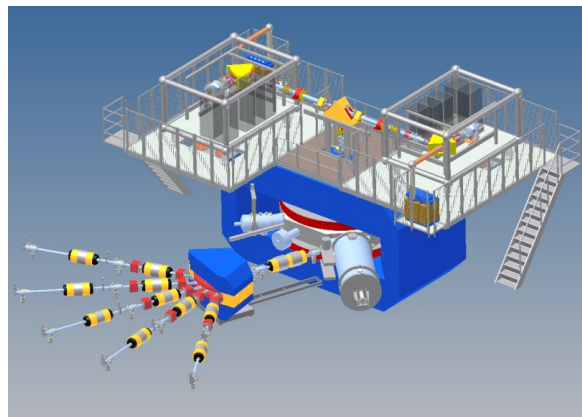


DC-280  
SHE factory

U-400  
Heavy and superheavy  
nuclei

U-400M  
Light exotic  
nuclei

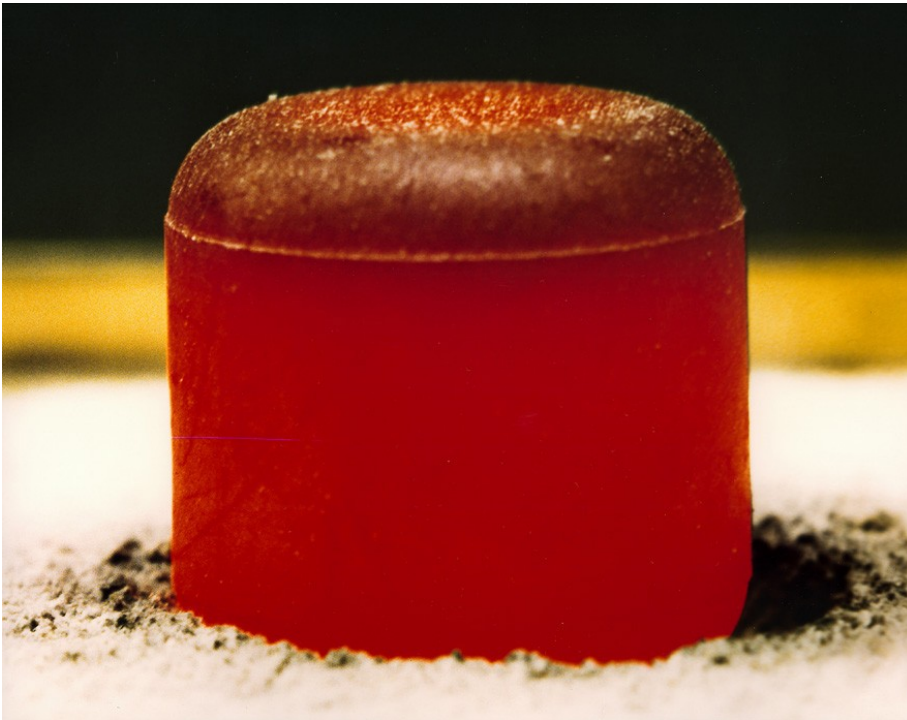
IC-10  
Applie



# **Профессии сверхтяжелых элементов**

# Радиоизотопные источники энергии

- Используют энергию радиоактивного распада
- Превосходят химические источники (аккумуляторы, топливные элементы и др.) в десятки и сотни тысяч раз по массовой и объёмной энергоёмкости
- Обеспечивают автономность работы оборудования, значительную надёжность, малый вес и габариты



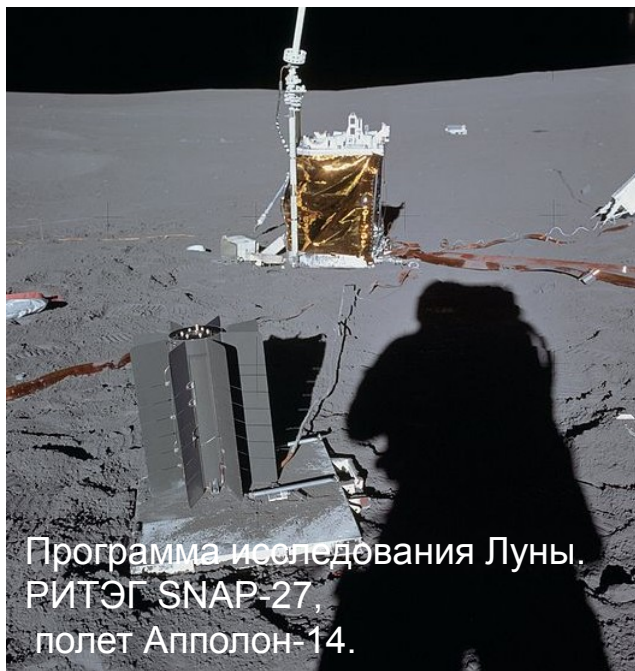
Топливный элемент из оксида  $^{238}\text{Pu}$   
Падение энерговыделения 0,78% в год

## ТРЕБОВАНИЯ К ИЗОТОПАМ

- высокая активность для получения значительного энерговыделения в ограниченном объёме установки (**относительно малый период полураспада**)
- длительный период поддержания мощности (**период полураспада – годы и десятилетия**)
- безопасный вид ионизирующего излучения (**простая и легкая защита от излучения**)
- для изотопов, способных к делению, возможно большая критическая масса
- дешевизна и простота получения изотопа

# Радиоизотопные источники энергии

Изотоп	Получение	Удельная мощность, Вт/г	Температура плавления топлива, °С	$T_{1/2}$	Энергия распада, кВт·ч/г
$^{238}\text{Pu}$	ядерный реактор	0,568	2500	86 лет	608,7
$^{90}\text{Sr}$	осколки деления	0,93	2460 (SrO)	28 лет	162,721
$^{144}\text{Ce}$	осколки деления	2,6	~2600	285 дней	57,439
$^{242}\text{Cm}$	ядерный реактор	121	~2270	162 дня	677,8
$^{210}\text{Po}$	облучение висмута	142	600 (PbPo)	138 дней	677,59
$^{244}\text{Cm}$	ядерный реактор	2,8	~2270	18,1 года	640,6
$^{232}\text{U}$	облучение тория	8,097	2850	68,9 лет	4887,103
$^{106}\text{Ru}$	осколки деления	29,8	2250	371,63 сут	9,854



Программа исследования Луны.  
РИТЭГ SNAP-27,  
полет Апполон-14.



Марсоход Curiosity



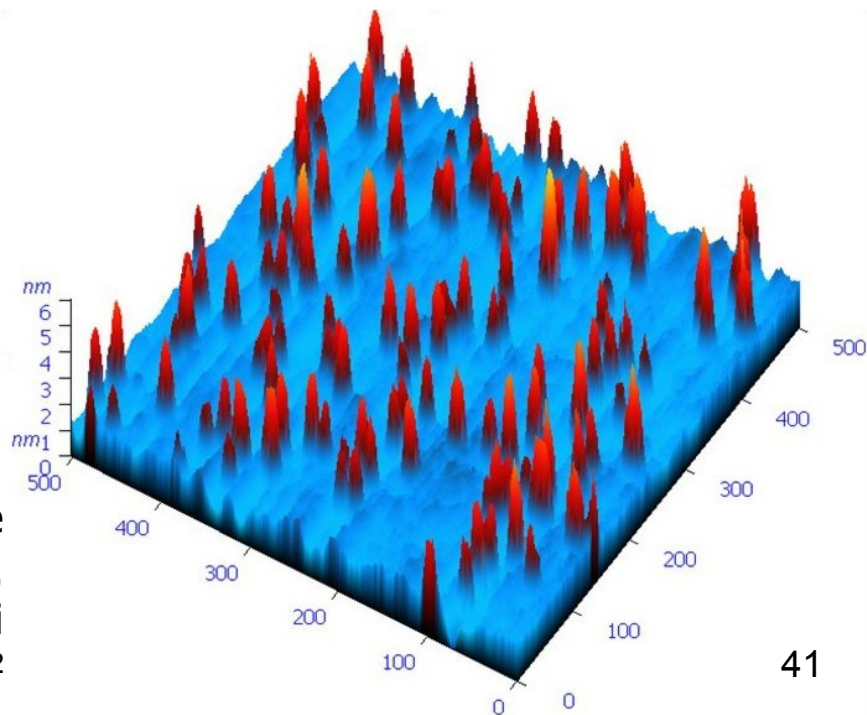
Станция «**Новые горизонты**» и  
предназначенная для изучения Плутона, его  
естественного спутника Харона и объектов  
пояса Койпера. Запущена в 2006 г.  
Стартовая мощность РИТЭГ – 228 Вт.



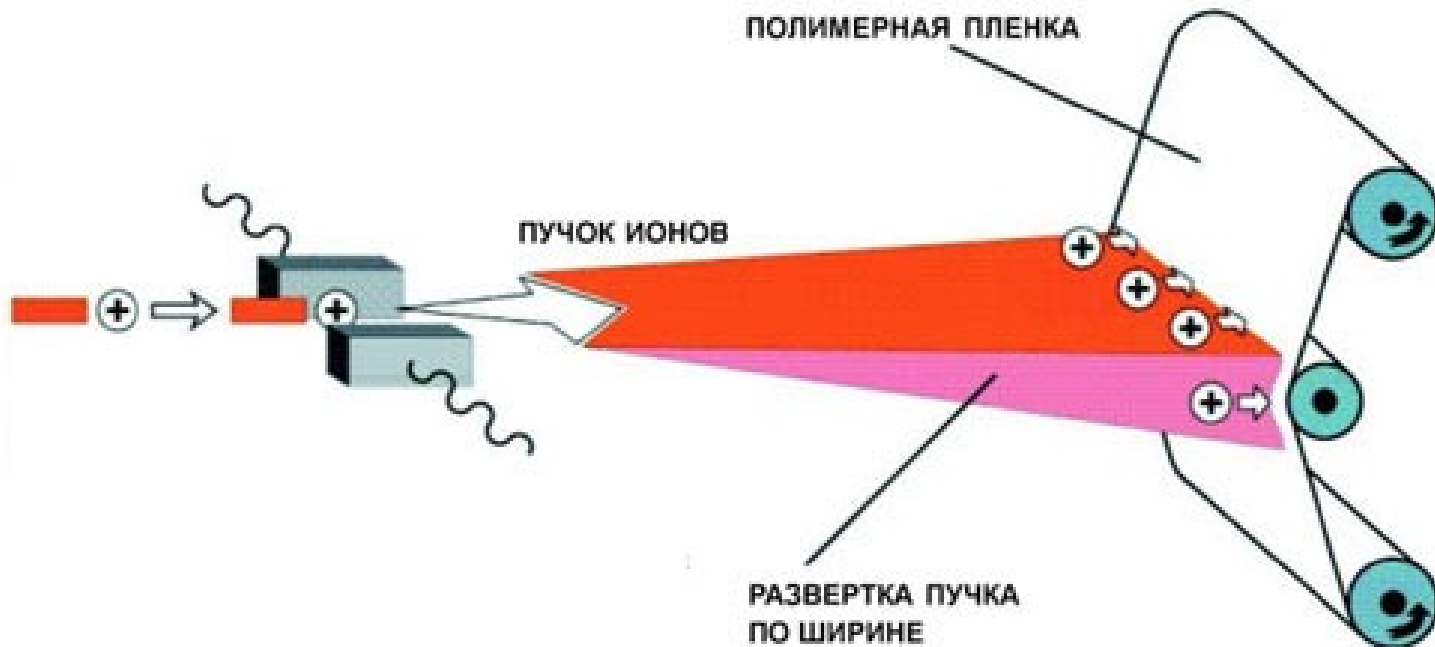
# Взаимодействие тяжелых ионов с веществом. Модификация физических свойств облученных материалов

- моделирование эффектов, вызываемых осколками деления в конструкционных реакторных материалах;
- исследование структурных эффектов ионизации высокой плотности в радиационно-стойких диэлектриках;
- разработка основ технологии высокоэнергетической ионной имплантации;
- исследование процессов формирования наноразмерных дефектов, вызываемых единичными тяжелыми ионами высоких энергий на поверхности твердых тел.

Наноразмерные структуры, образованные на поверхности  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ , образованные ионами  $\text{Bi}$  с энергией 710 МэВ при потоке  $5 \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$



# Трековые мембраны



## ИЦ-100

диаметр полюсов

1 метр

Потребление энергии 150 кВт.

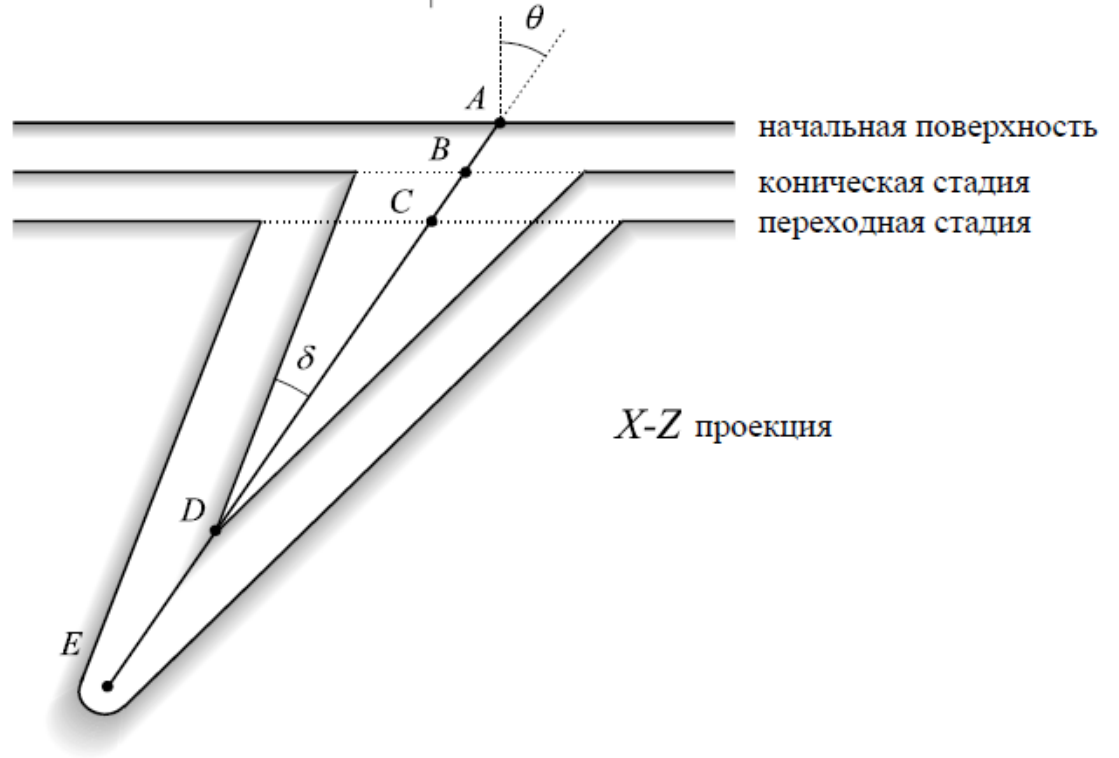
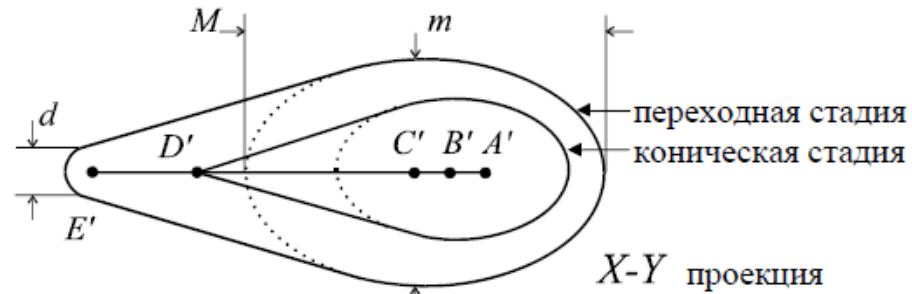
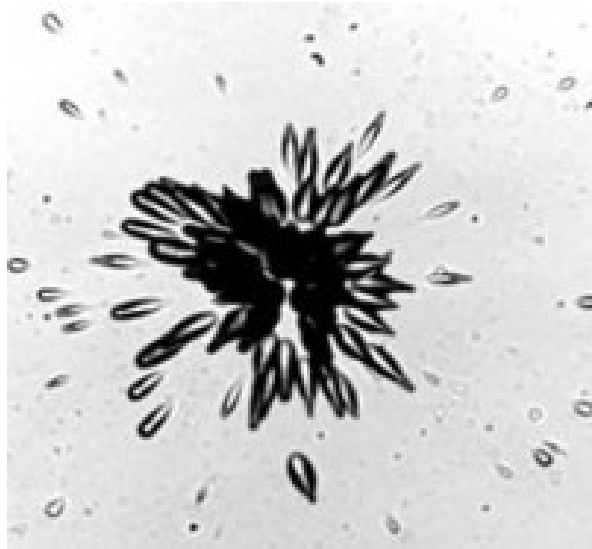
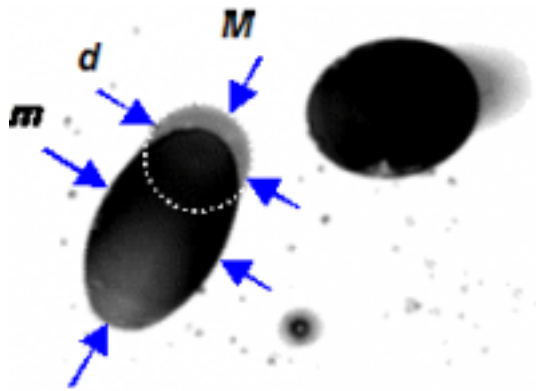
Энергия ионов (Xe, Kr)

1,2 МэВ/нуклон

Толщина пленки

20 мкм

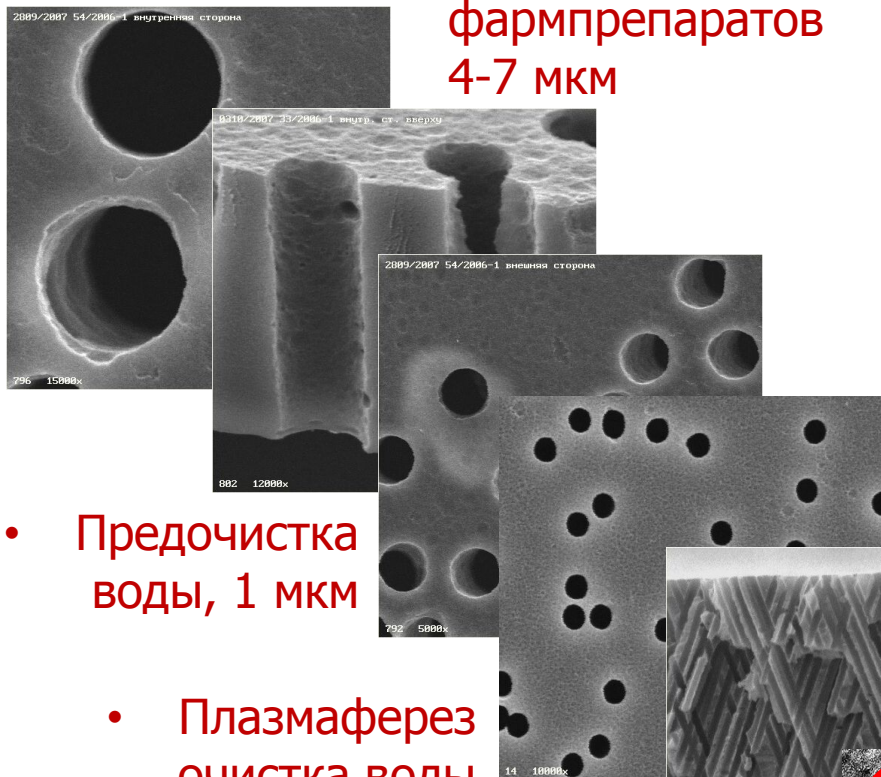
# Твердотельные детекторы



# Трековые мембраны

## Micrometers

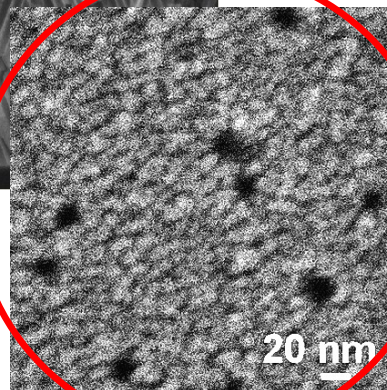
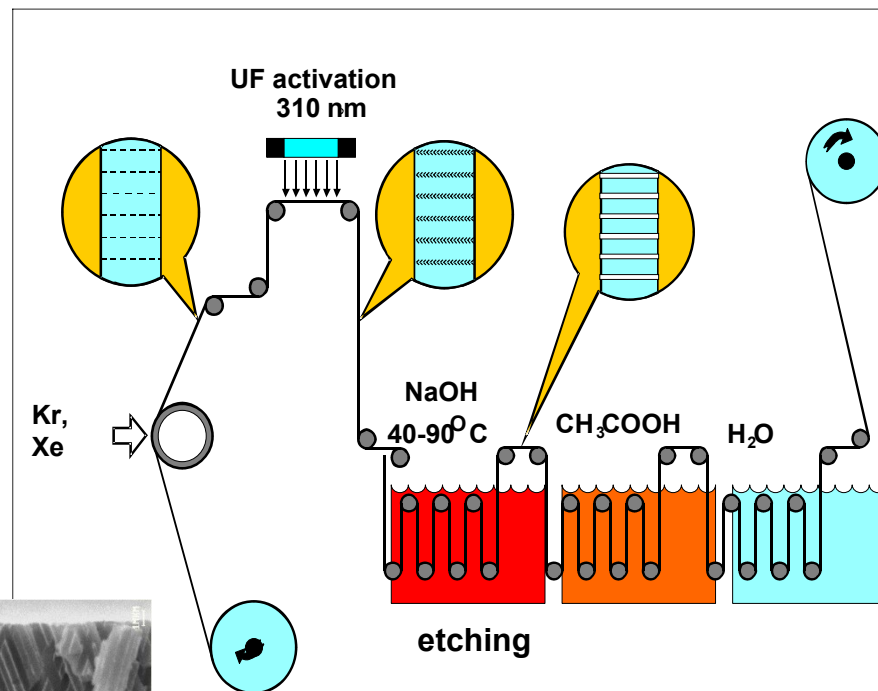
- Очистка  
фармпрепаратов  
4-7 мкм



- Предочистка  
воды, 1 мкм

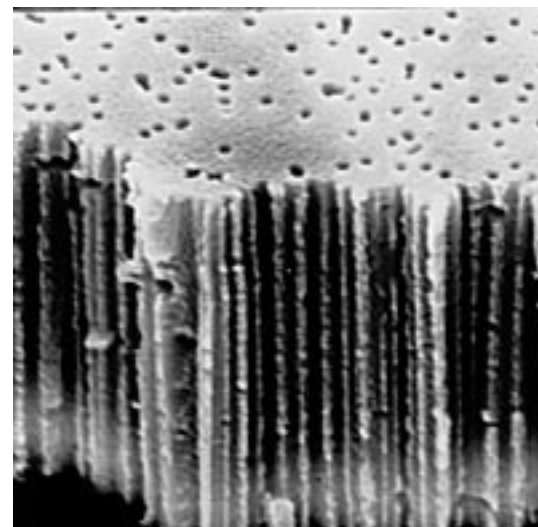
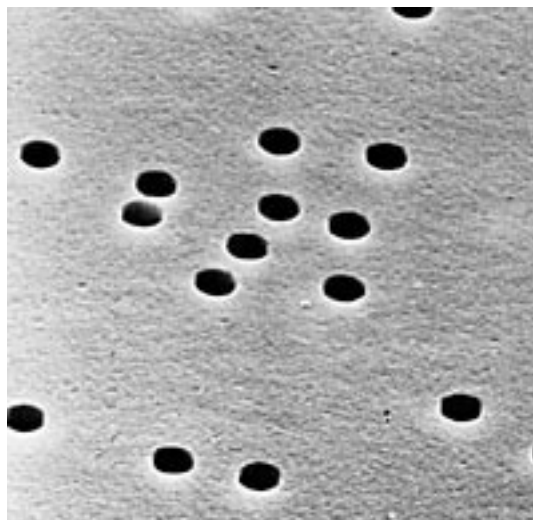
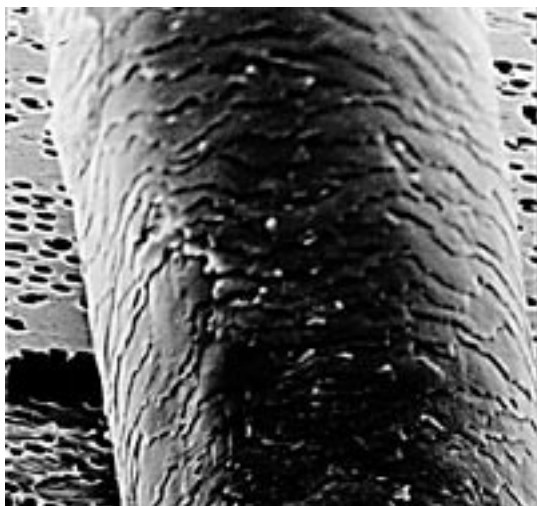
- Плазмаферез  
очистка воды  
0,4 мкм

- Молекулярные сенсоры  
< 20 нм



## Nanometers

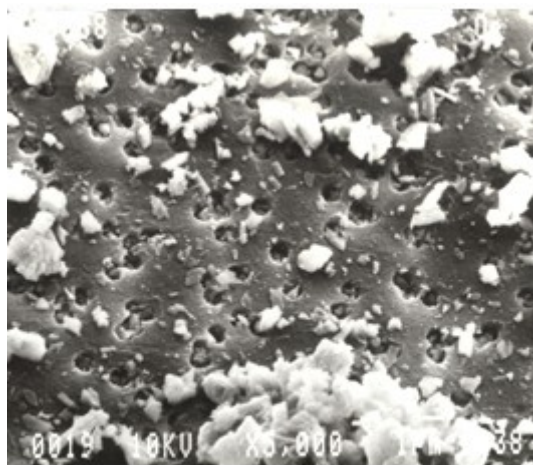
# Трековые мембраны



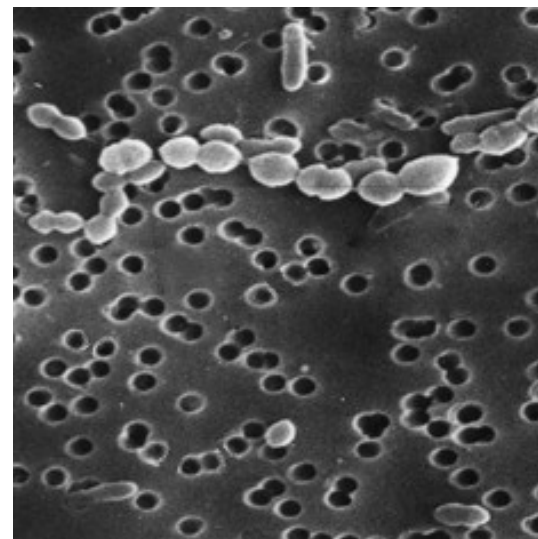
толщина –  
от 12 мкм до 21 мкм;

диаметр пор –  
от 30 нм до 15000 нм;

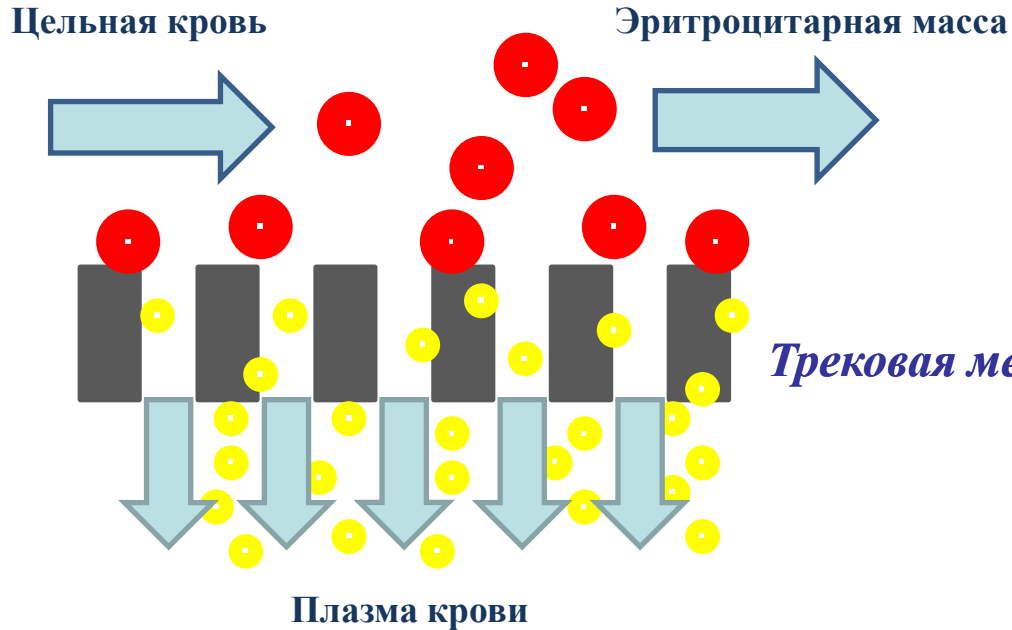
плотность –  
 $10^6 \div 10^8$  пор/см<sup>2</sup>



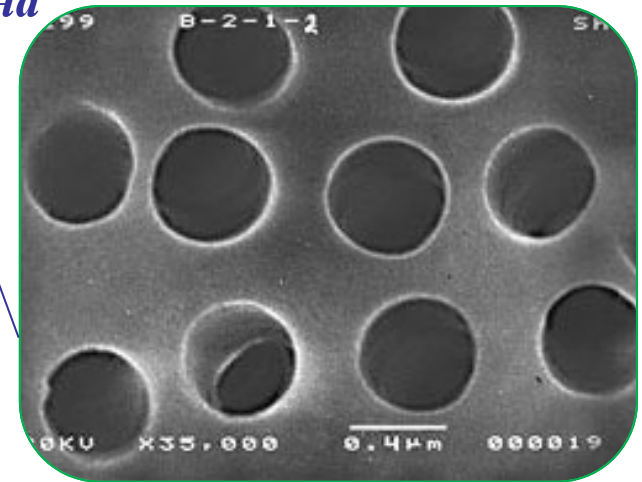
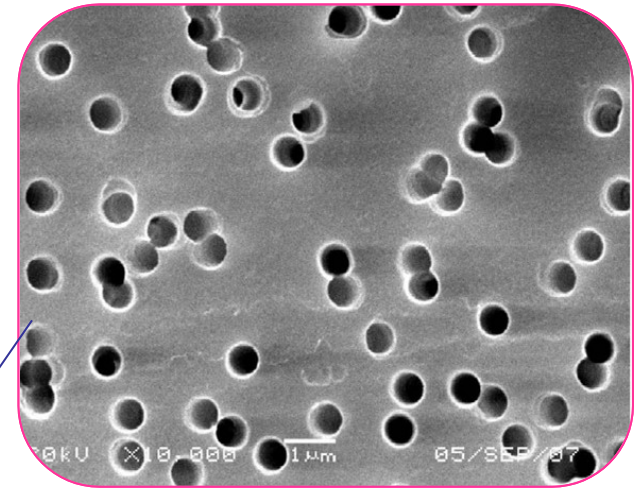
Загрязнение на поверхности мембраны в результате очистки водопроводной воды



# Принципиальная схема разделения крови на плазму и эритроцитарную массу на мембранном фильтре

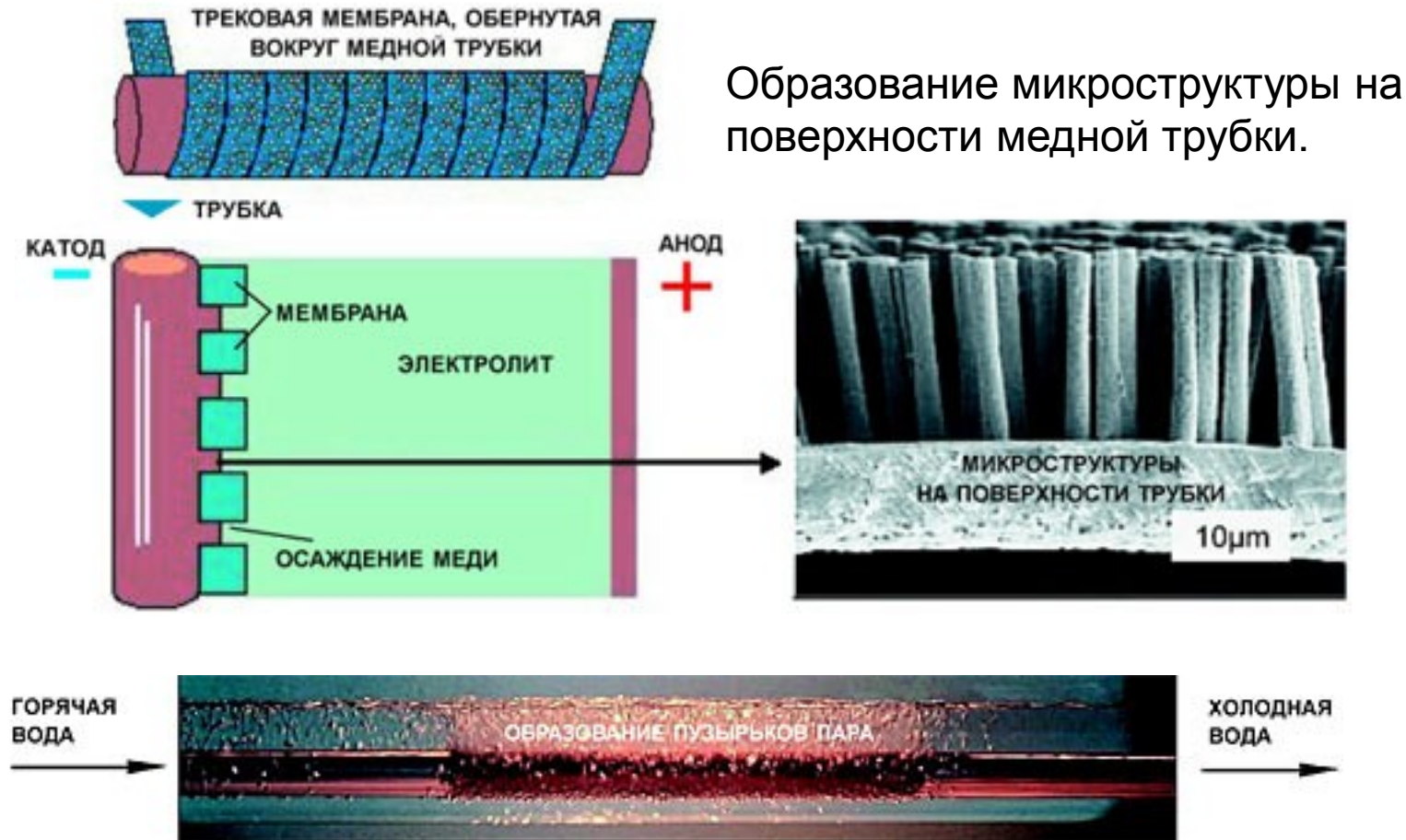


Эритроциты	7-8 мкм
Лейкоциты	4,5-14 мкм
Тромбоциты	2-4 мкм



**Премия Правительства РФ 2008 года в области науки и техники**  
за разработку и создание технологии плазмафереза и внедрение ее в  
медицинскую практику

# Трековые мембраны

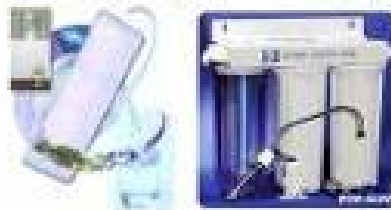


Медная трубка с микроструктурами на поверхности гораздо лучше отводит тепло, чем гладкая. На фото видно, что на участке с микроструктурами происходит интенсивное кипение охлаждающей жидкости.

## Лабораторная фильтрация



## Очистка воды в домашних условиях



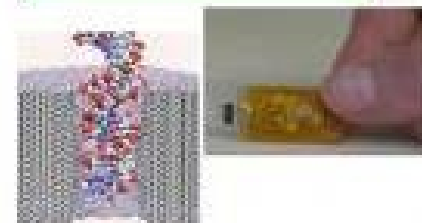
## Медицина



## Промышленная фильтрация



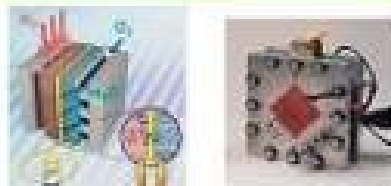
## Сенсоры



## Культивирование клеток



## Мембранный катализ



## Нанотехнологии

