



# Микромир и Вселенная 2018

# Сверхтяжелые элементы

# Распространенность нуклидов во Вселенной

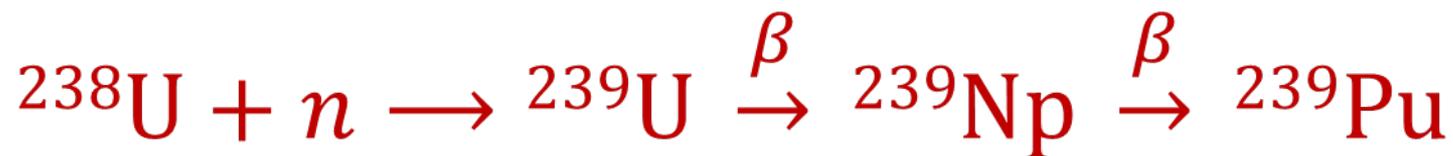
Распространенность Si принята равной  $10^6$ .



# 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

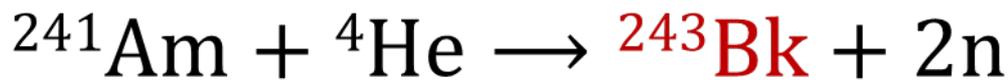
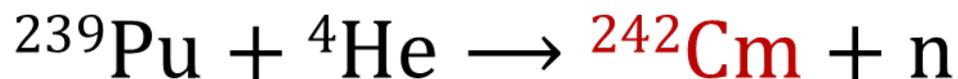


# АКТИНОИДЫ

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



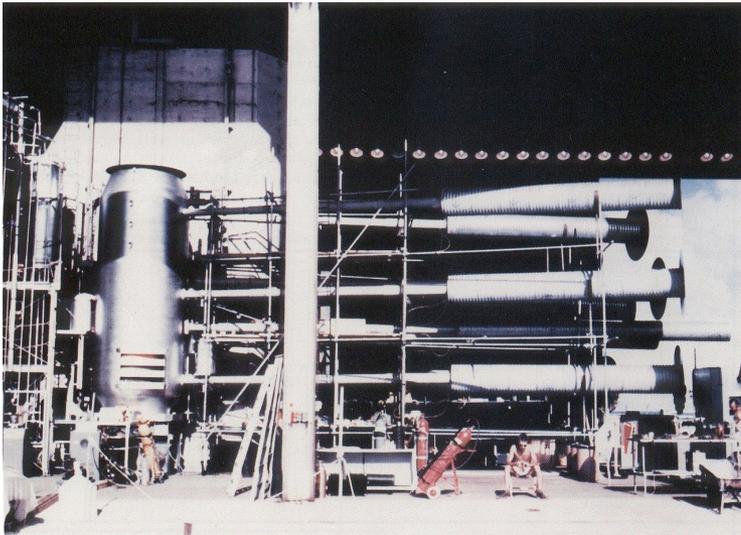
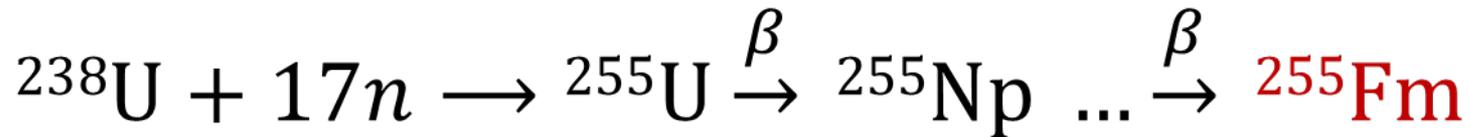
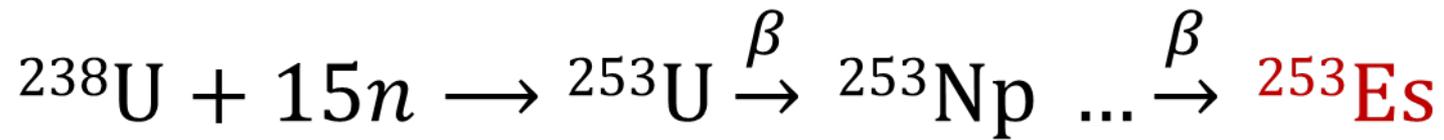
Наиболее  
долгоживущие изотопы

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	$^{243}\text{Am} + ^{16,18}\text{O} \rightarrow$ $\rightarrow ^{255, 256}\text{Lr} + (3,5)n$

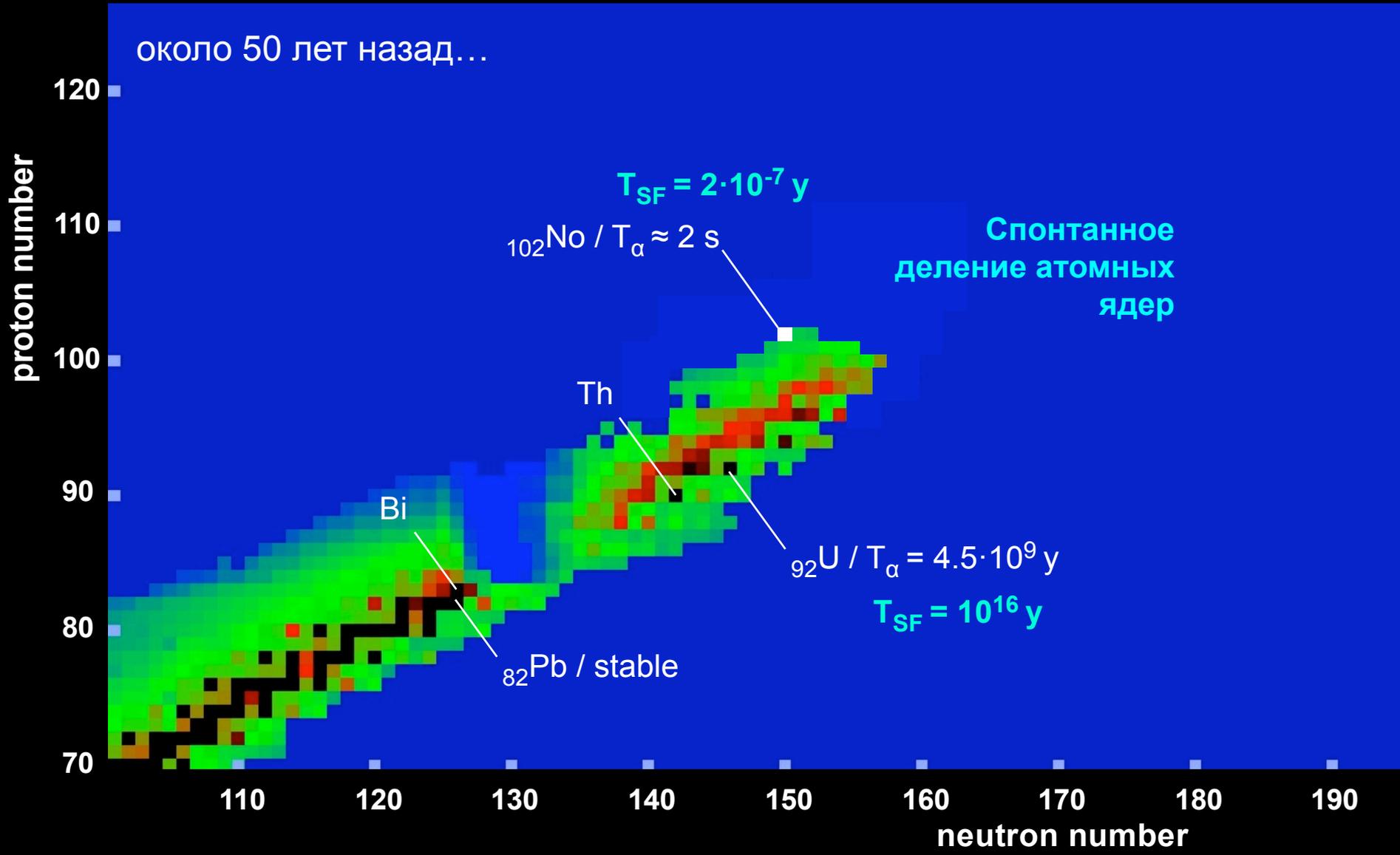
Наиболее  
долгоживущие изотопы

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:

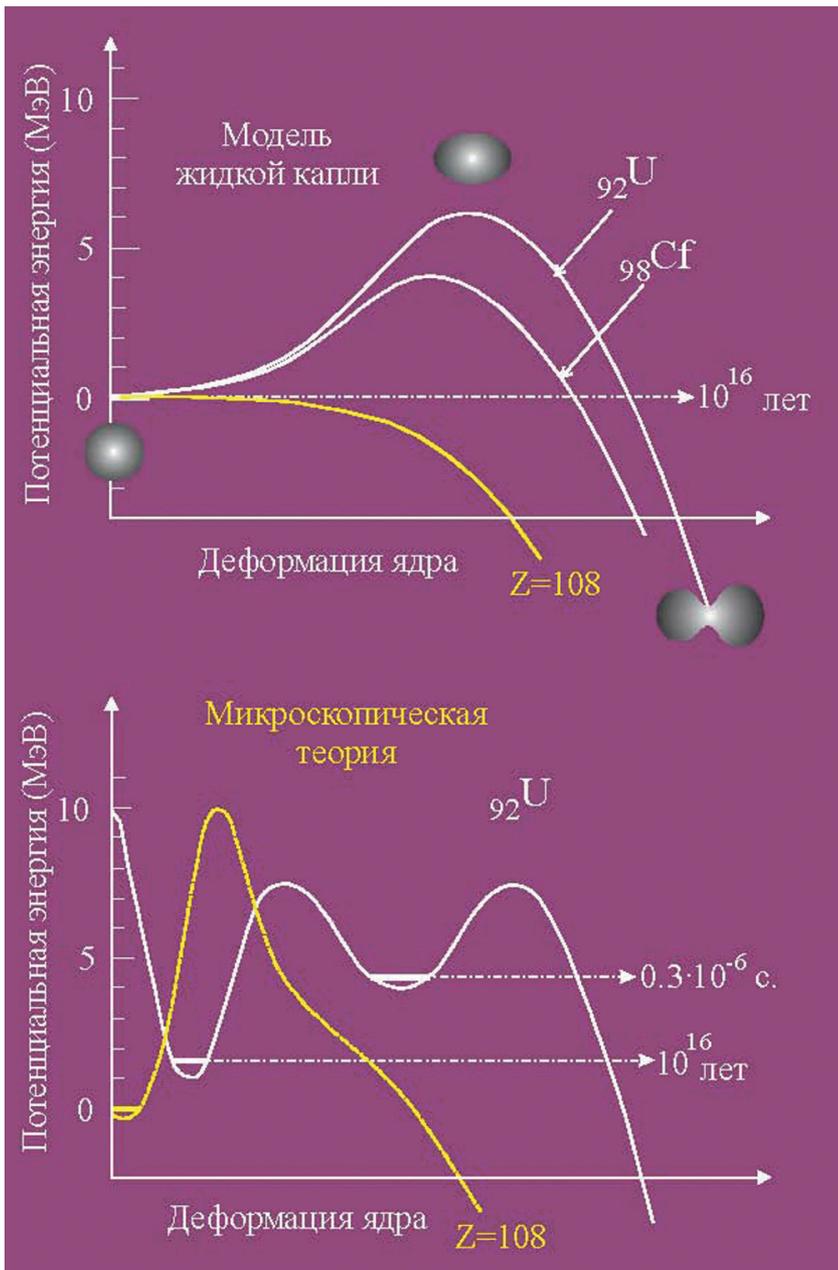
- Отсутствие в требуемых количествах мишеней из тяжелых трансурановых элементов.
- Существенное уменьшение по мере увеличения Z времени жизни изотопов, что значительно усложняет их идентификацию.

около 50 лет назад...

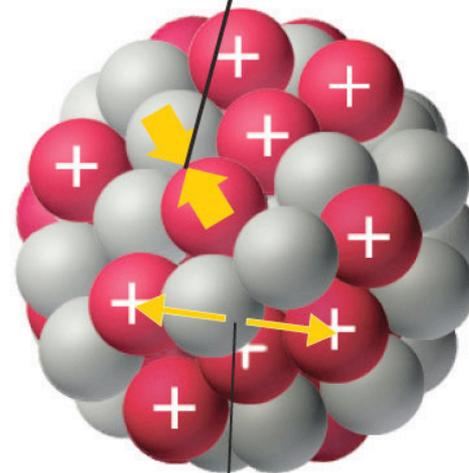


## Капельная модель

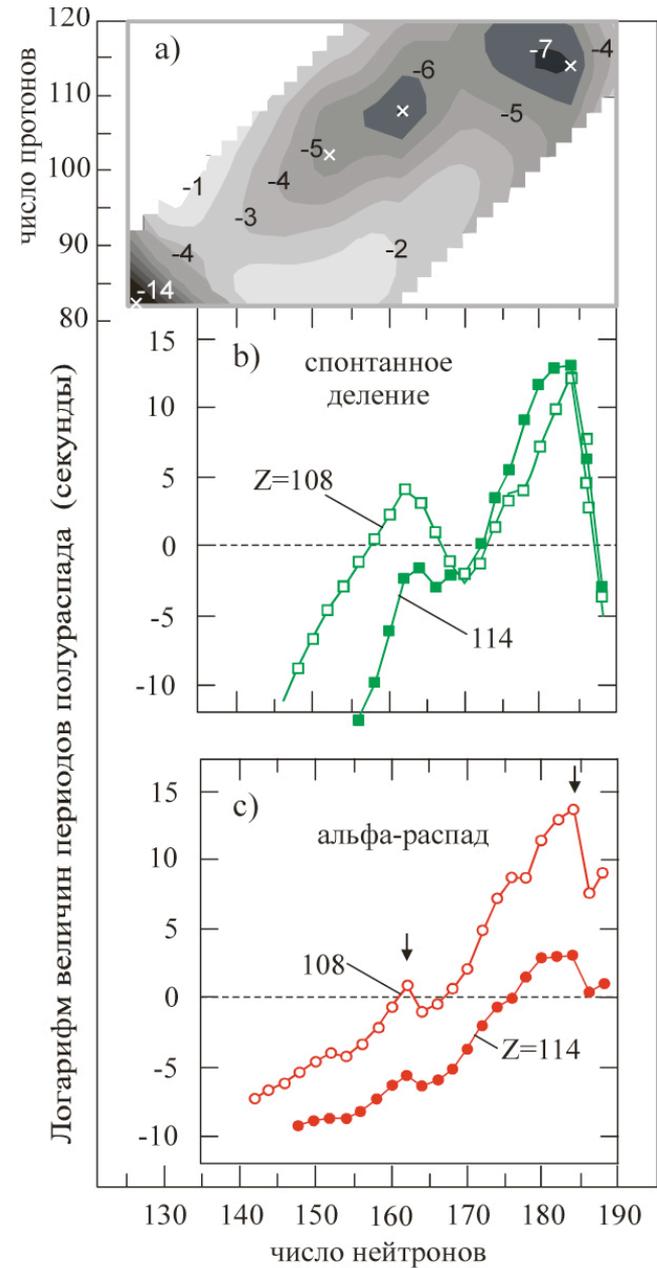
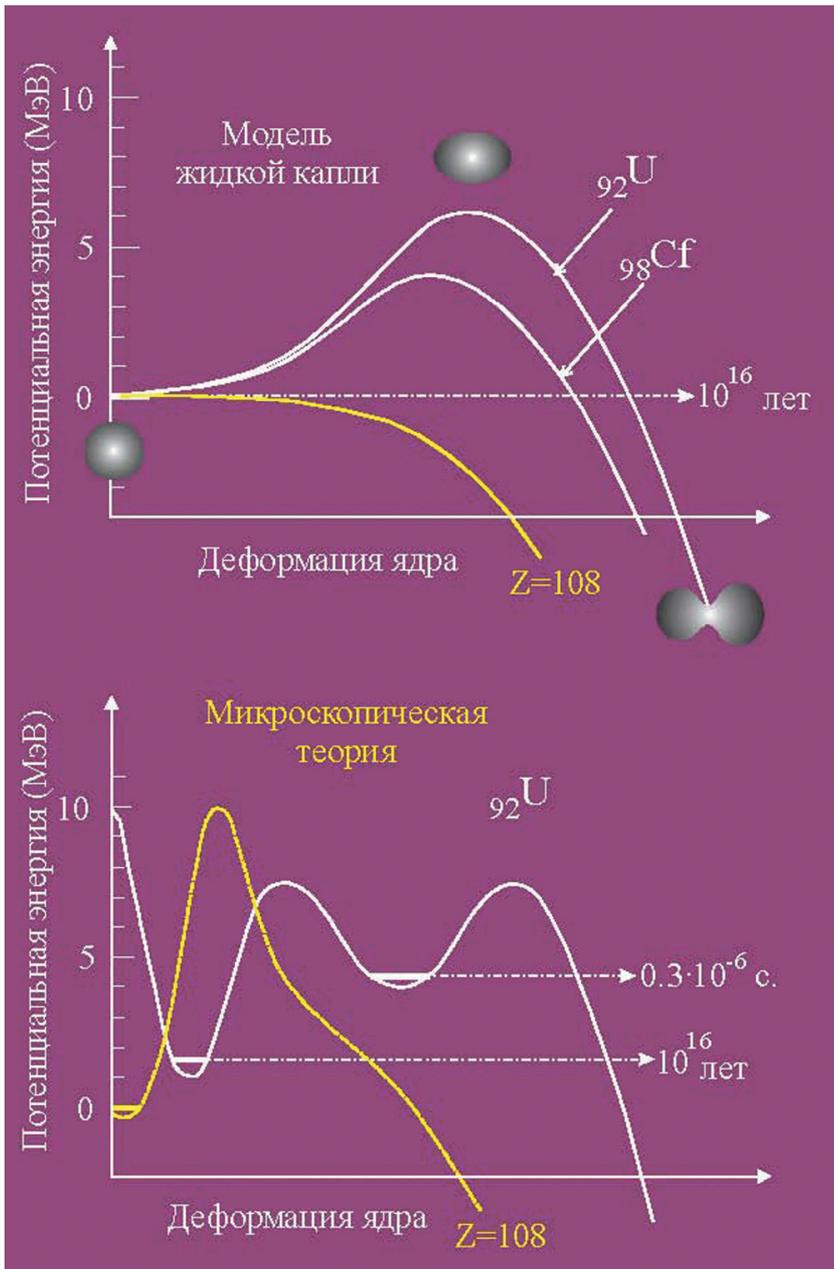
Для  $Z \geq 104$  время жизни  $\sim 10^{-19}$  с



Strong nuclear force

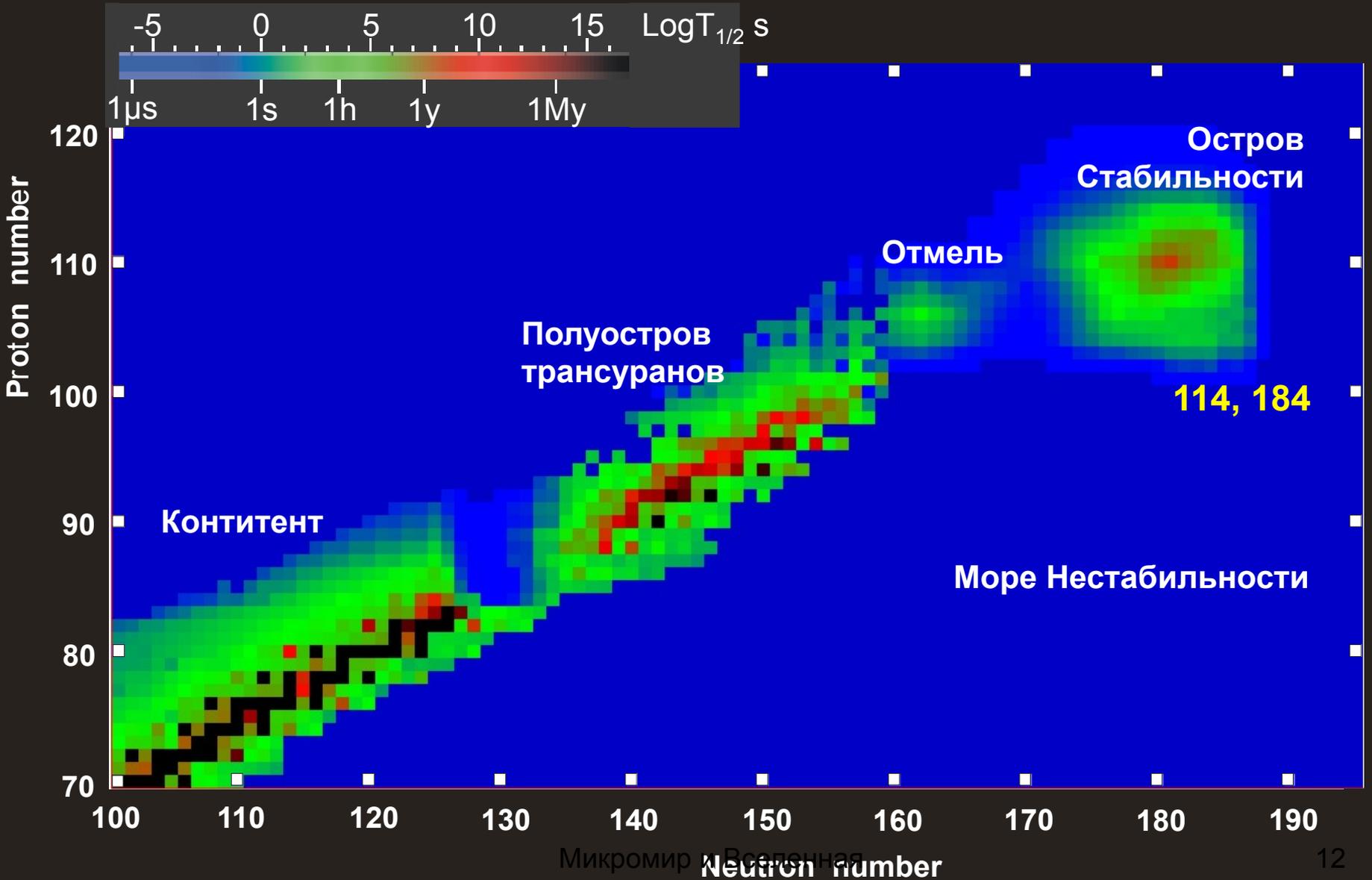


Electrostatic repulsion



New lands

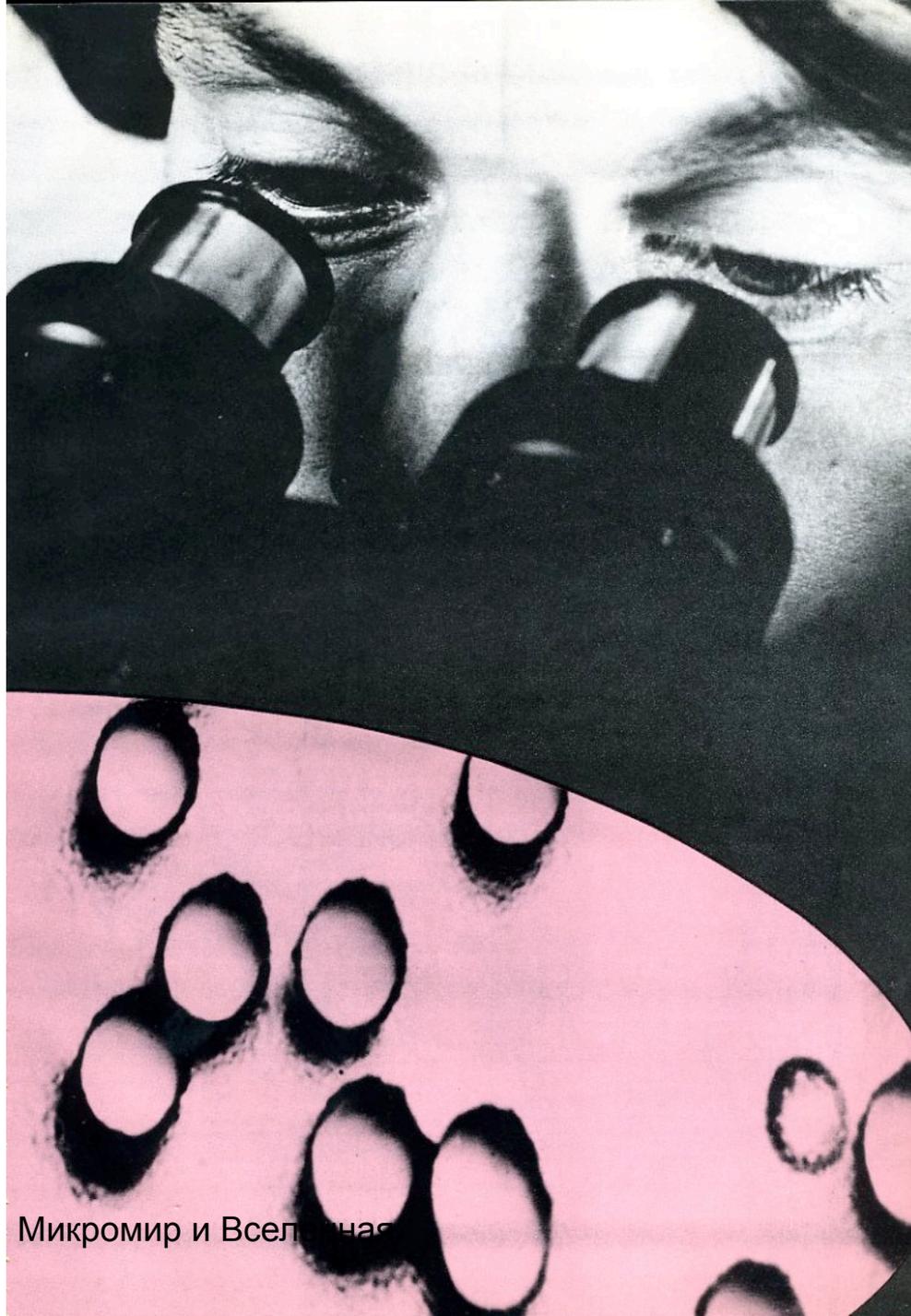
# Макро-микроскопическая теория ядра



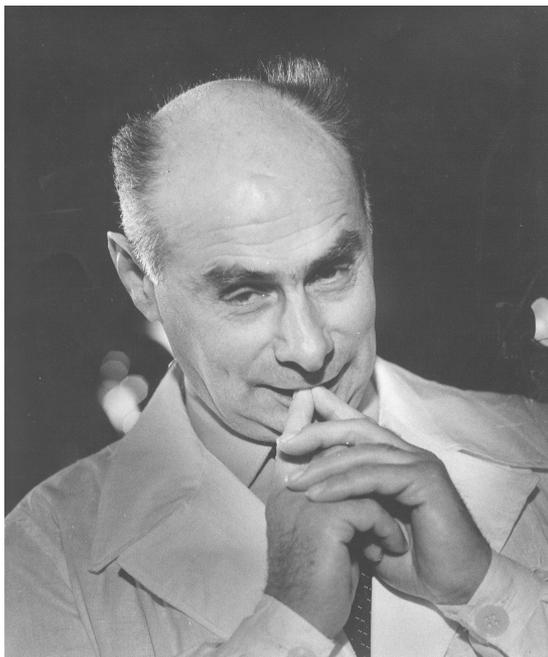


Объединенный институт  
ядерных исследований,  
Дубна, СССР

## Лаборатория ядерных реакций



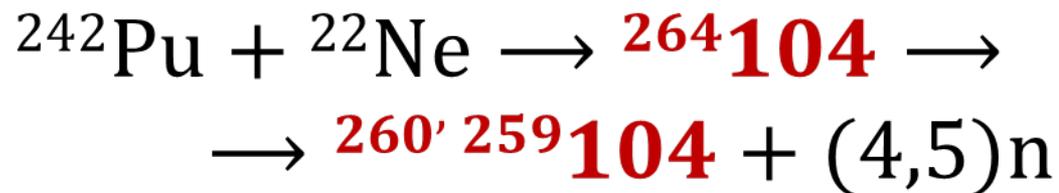
Микромир и Вселенная



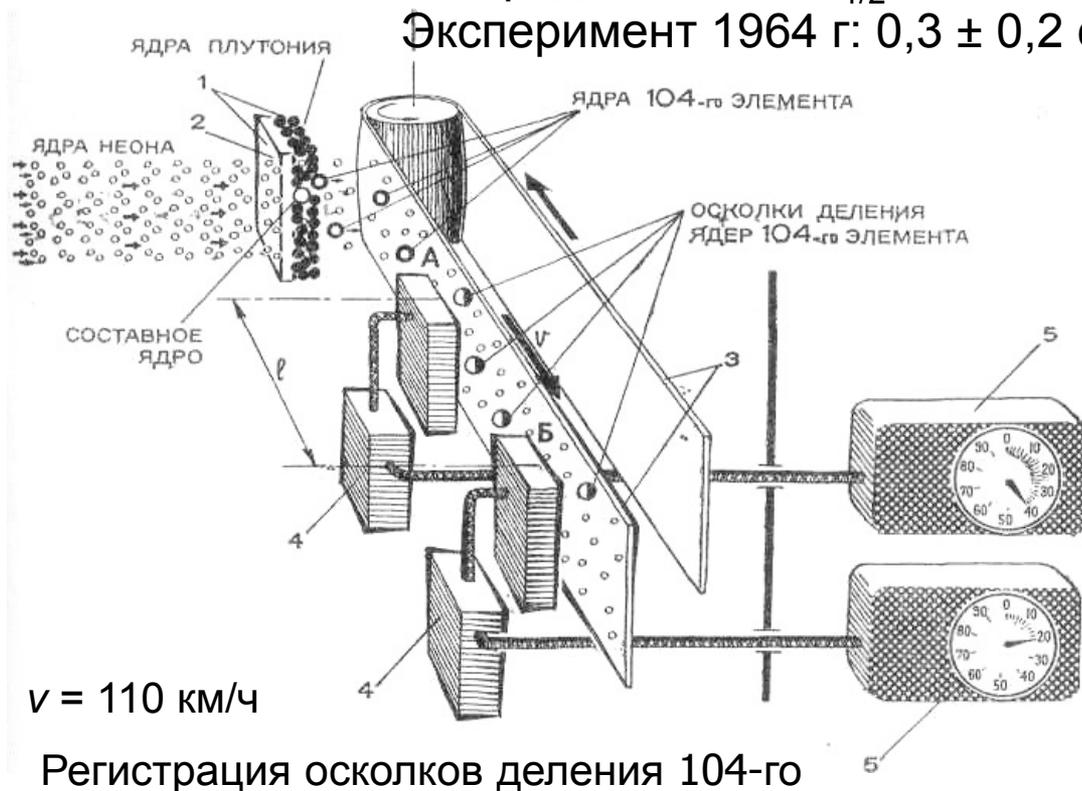
Георгий Николаевич  
**ФЛЕРОВ**

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 гражданами Союза Советских Социалистических Республик

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

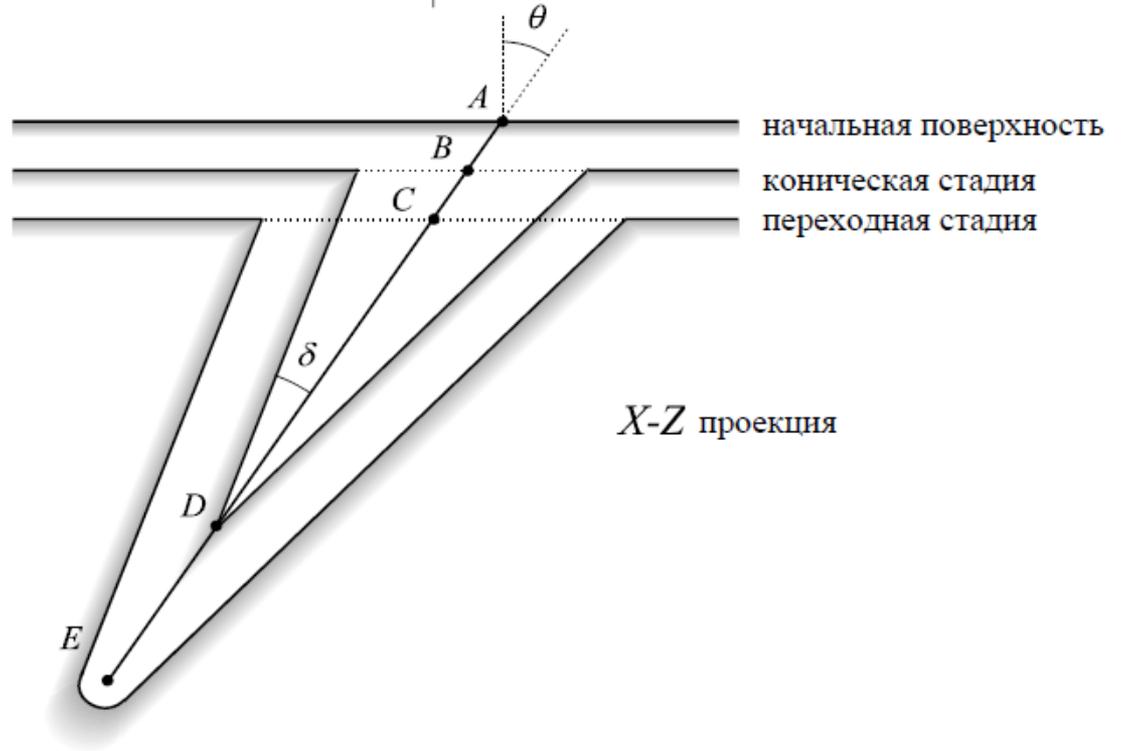
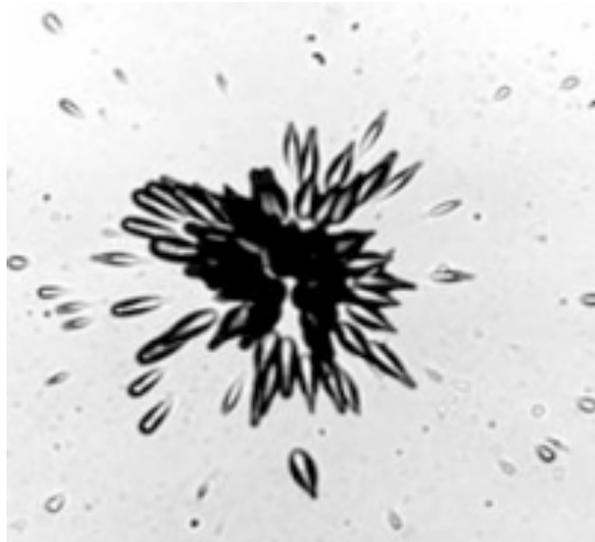
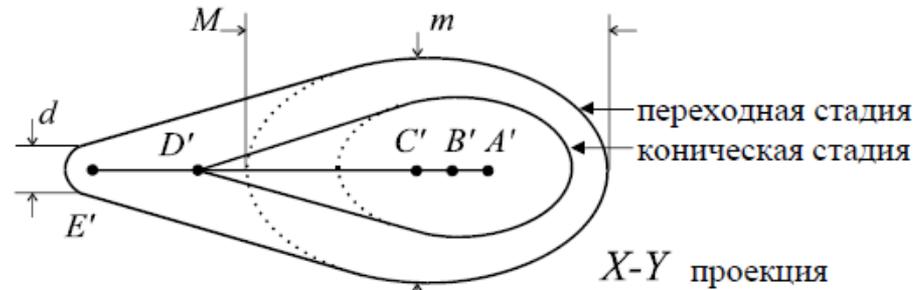
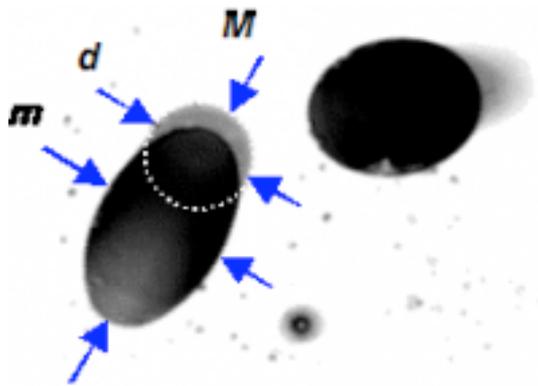
На снимке — участники открытия шестого элемента (слева направо): кандидат физико-математических наук С. П. Третьякова, инженер Н. А. Данилов, механик В. М. Плотко, научный сотрудник Ю. С. Короткин, доктор физико-математических наук Ю. Ц. Оганесян, академик Г. Н. Флеров, кандидат физико-математических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

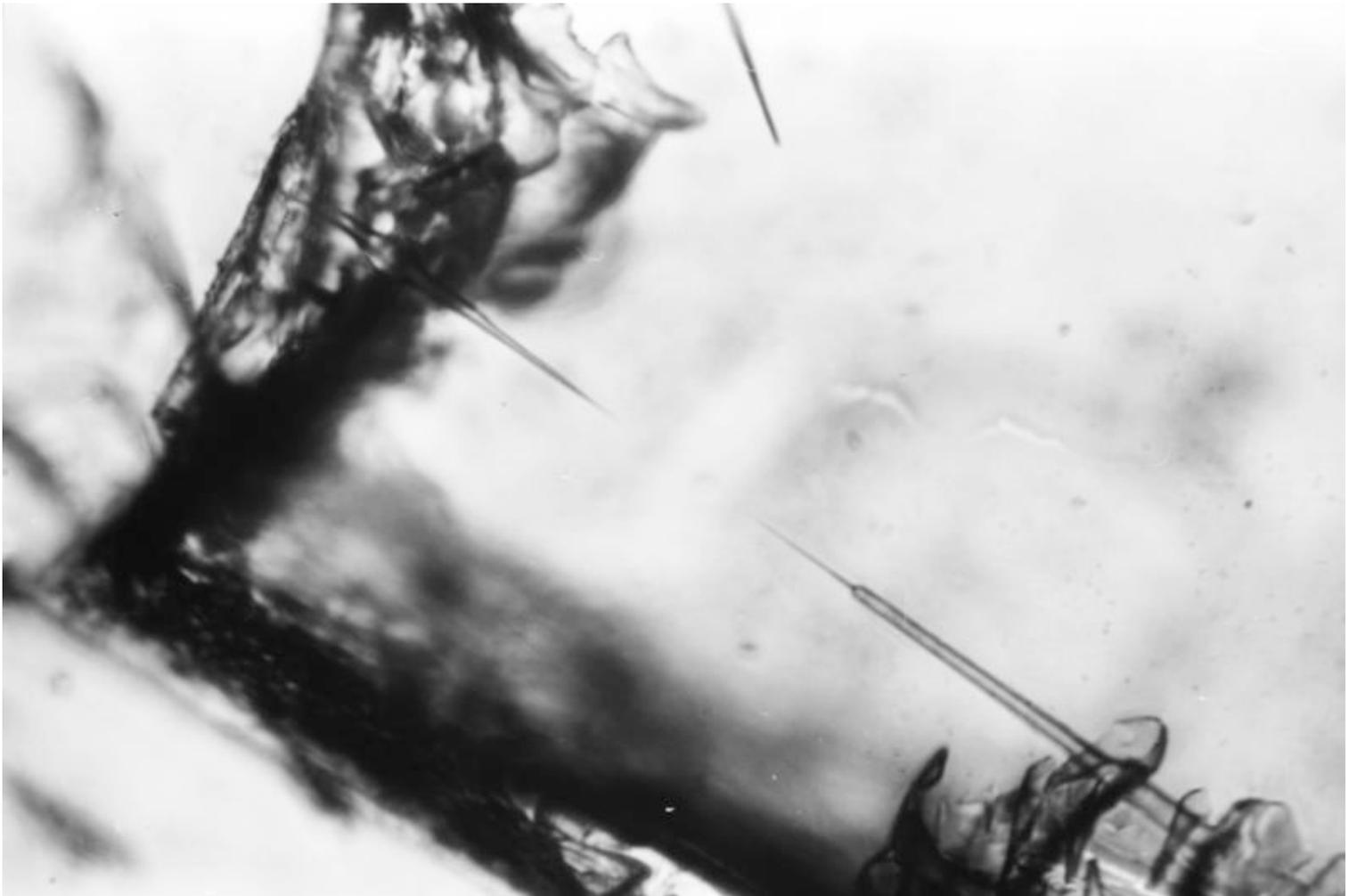


## Синтез сверхтяжелых элементов в Дубне

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	Uut	
1998	114	Fl	Флеровий
2003	115	Uup	
2000	116	Lv	Ливерморий
2010	117	Uus	
2002	118	Uuo	

# Твердотельные детекторы





1980 г. Трек ядра из состава галактических лучей длиной более 330 мкм, обнаруженный в кристалле оливина из метеорита Игл Стейшн. Предполагаемое  $Z$  ядра  $\sim 110$ .

# Горячее слияние

Элемент	Год	Лаборатория	Реакция
<sup>104</sup> Rf Резерфордий	1964	Дубна, СССР	$^{242}\text{Pu} + ^{22}\text{Ne} \rightarrow$ $\rightarrow ^{260, 259}\text{Rf} + (4,5)n$
	1969	Беркли, США	$^{249}\text{Cf} + ^{12}\text{C} \rightarrow ^{257}\text{Rf} + 4n$
<sup>105</sup> Du Дубний	1970	Дубна, СССР	$^{242}\text{Am} + ^{22}\text{Ne} \rightarrow ^{264}\text{Db}$
	1970	Беркли, США	$^{242}\text{Cf} + ^{15}\text{N} \rightarrow ^{264}\text{Db} + 4n$
<sup>106</sup> Sg Сиборгий	1974	Беркли, США	$^{249}\text{Cf} + ^{18}\text{O} \rightarrow ^{263}\text{Sg} + 4n$
	1974	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>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  $Z = 107 - 112$**

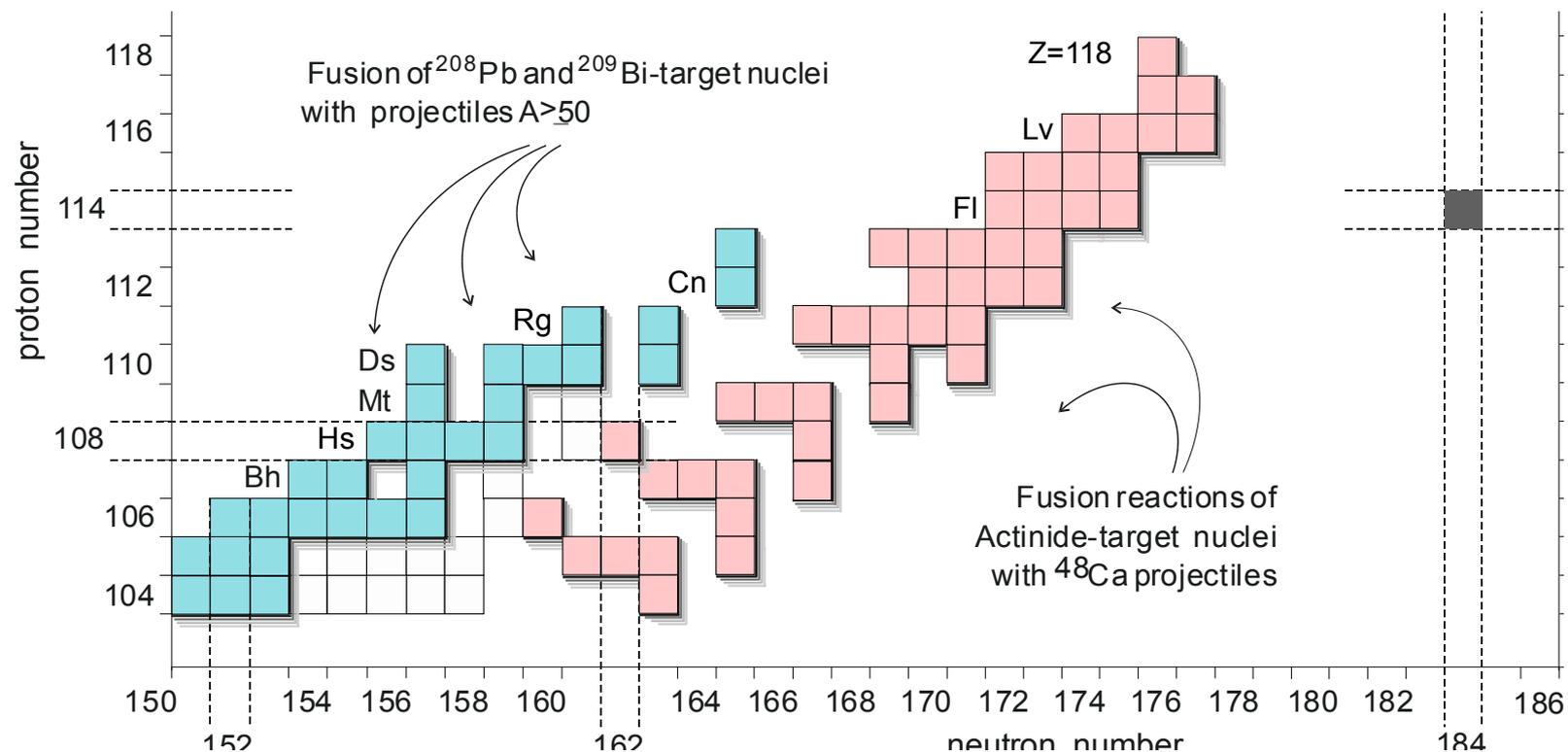
## ПРОБЛЕМЫ:

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

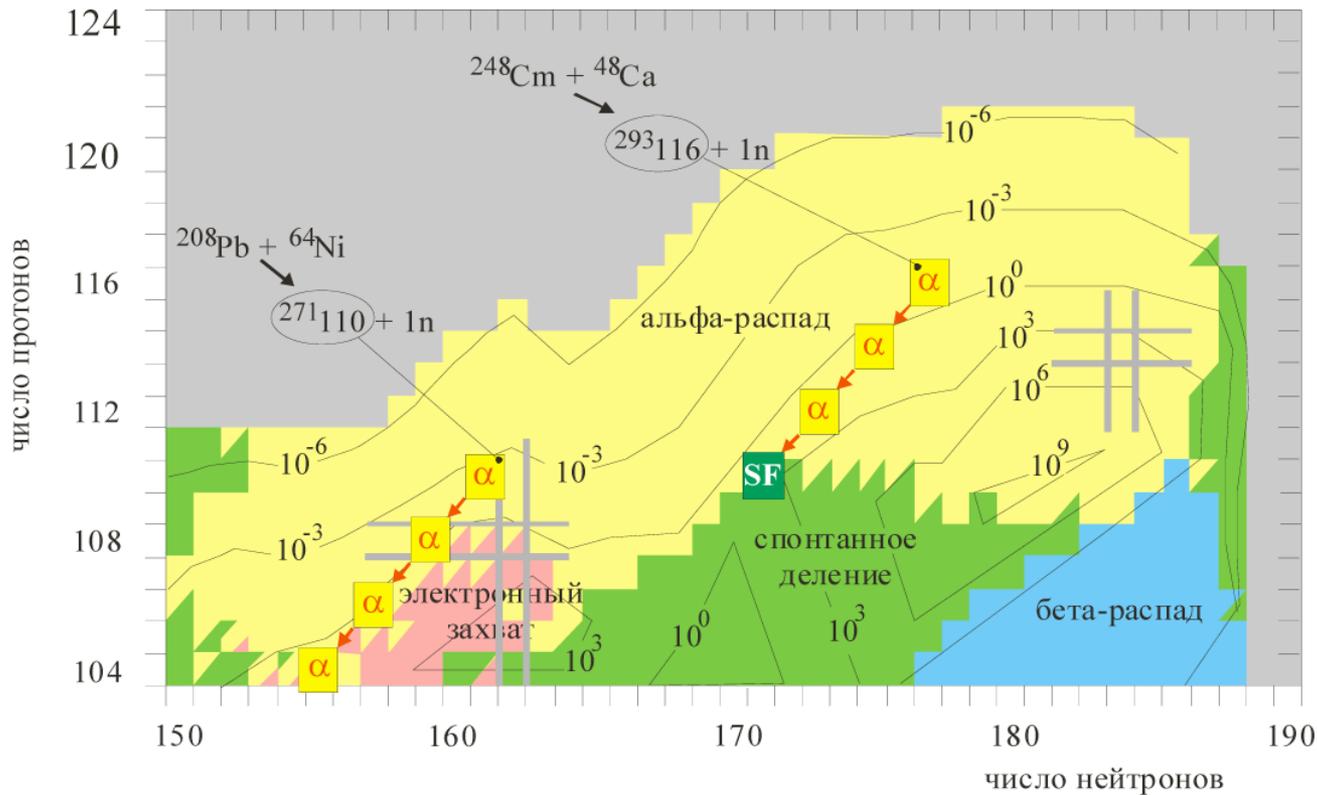
# $^{48}\text{Ca}$ + Actinide

- 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 $Z = 104 - 118$



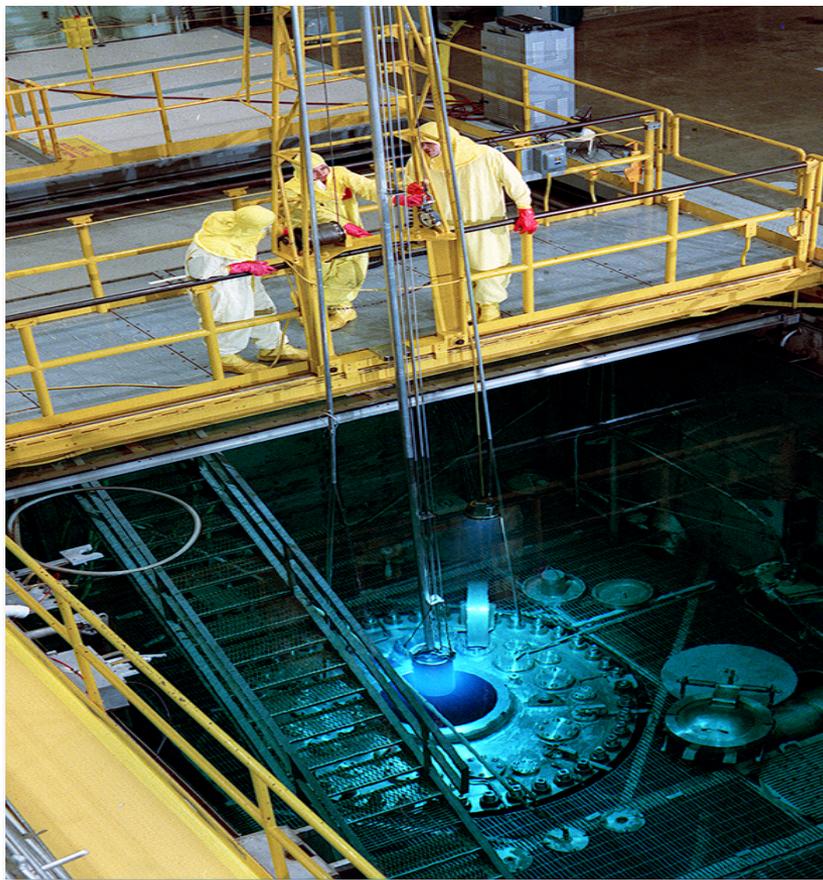
# $^{48}\text{Ca}$ + Actinide



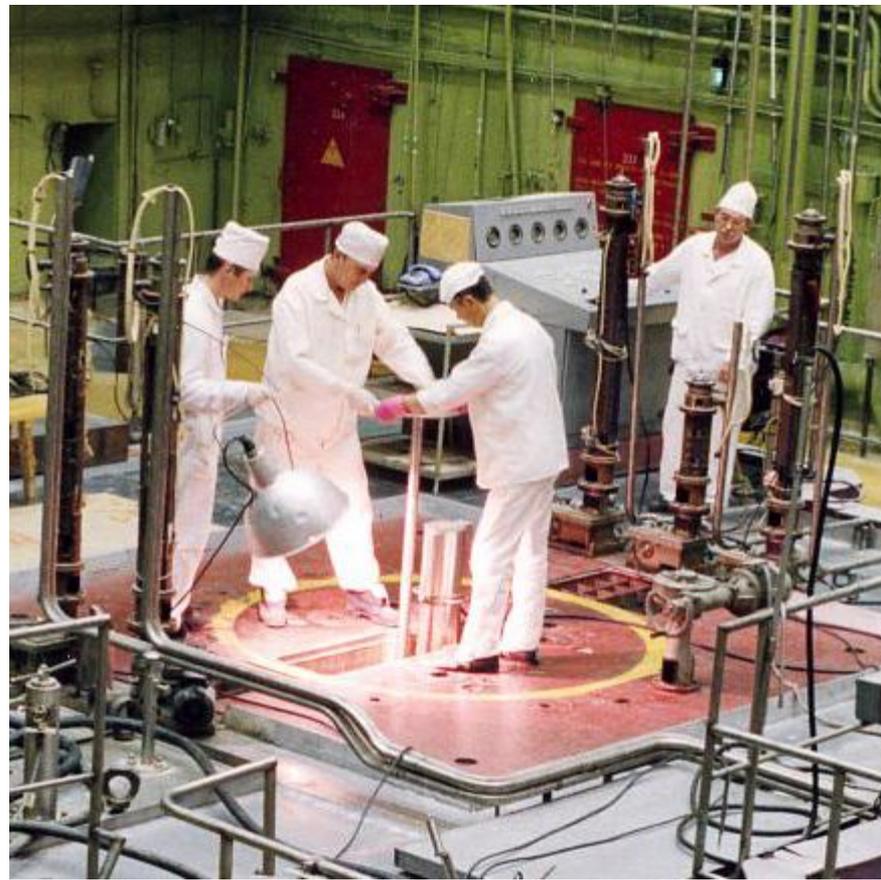
- Силы Кулона  $\sim Z_1 \times Z_2 < 2000$
- $^{48}\text{Ca}$  – дважды магическое ядро
- Энергия возбуждения компанд-ядра  $\sim 30\text{-}35$  МэВ
- Регистрация семейства альфа-распадов

# Производство тяжелых изотопов

HFIR, ORNL, Oak Ridge, USA, 85 MW



СМ-3, IAR, Димитровград, РФ, 100 MW

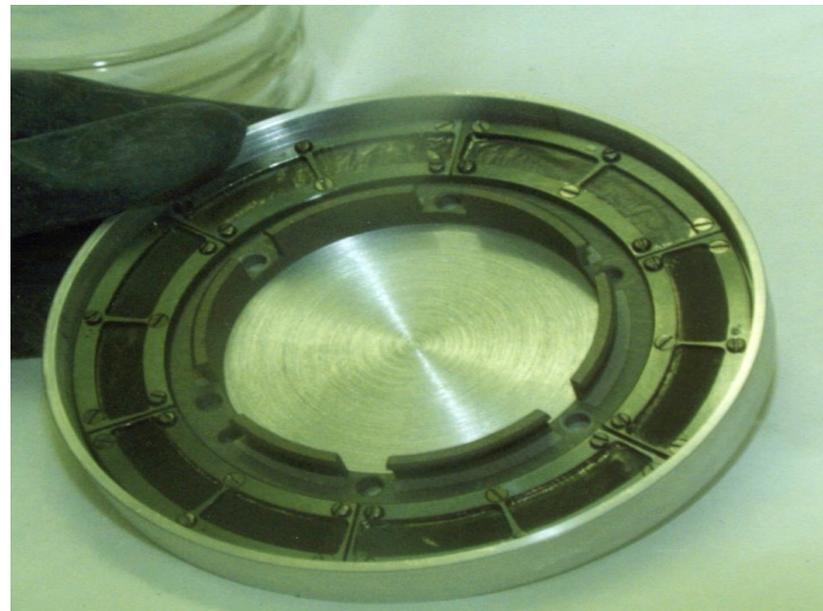


# Мишень



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

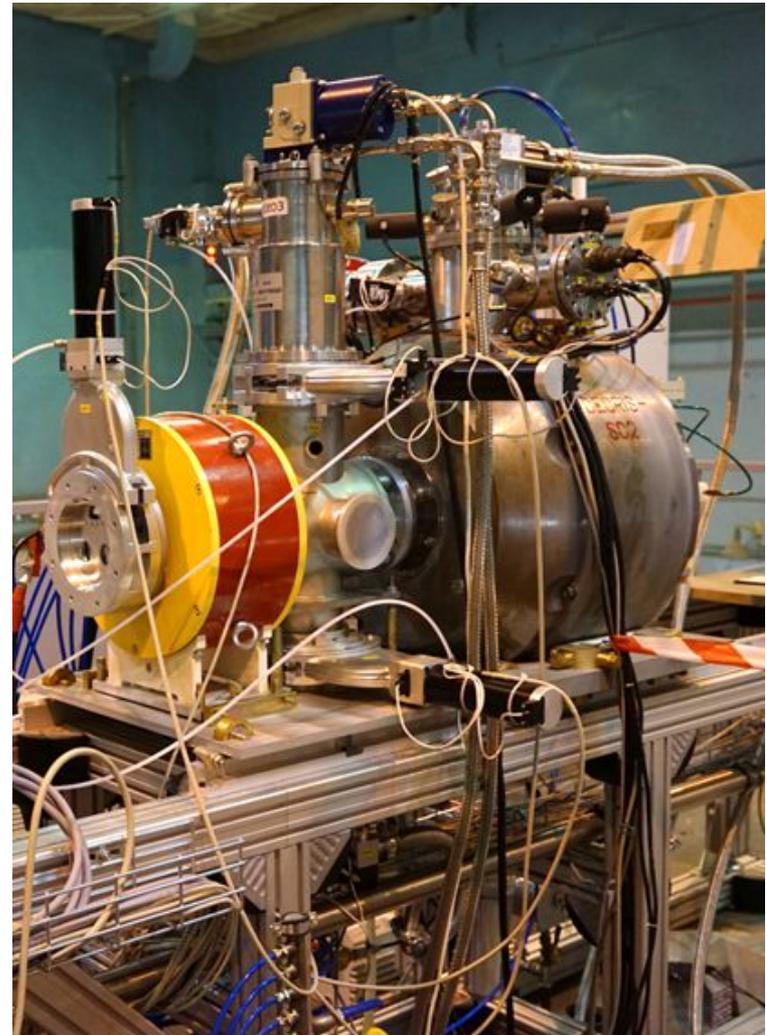
$^{197}\text{Au} \approx 0.045$  US\$

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

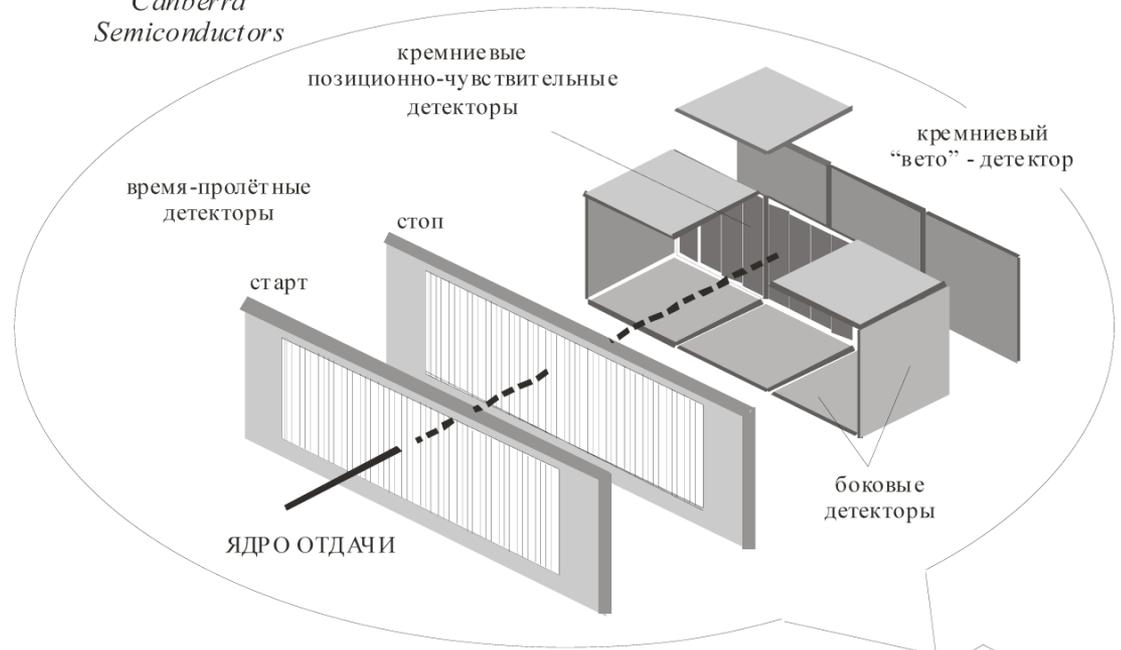


Пучки ускоренных ионов  $A = 4 - 209$   
с энергией  $3 - 29$  МэВ/нуклон  
Магнит 2100 тонн, диаметр 4 м  
Потребление энергии  $1,5$  МВт

# Dubna Gas-Filled Recoil Separator

Canberra  
Semiconductors

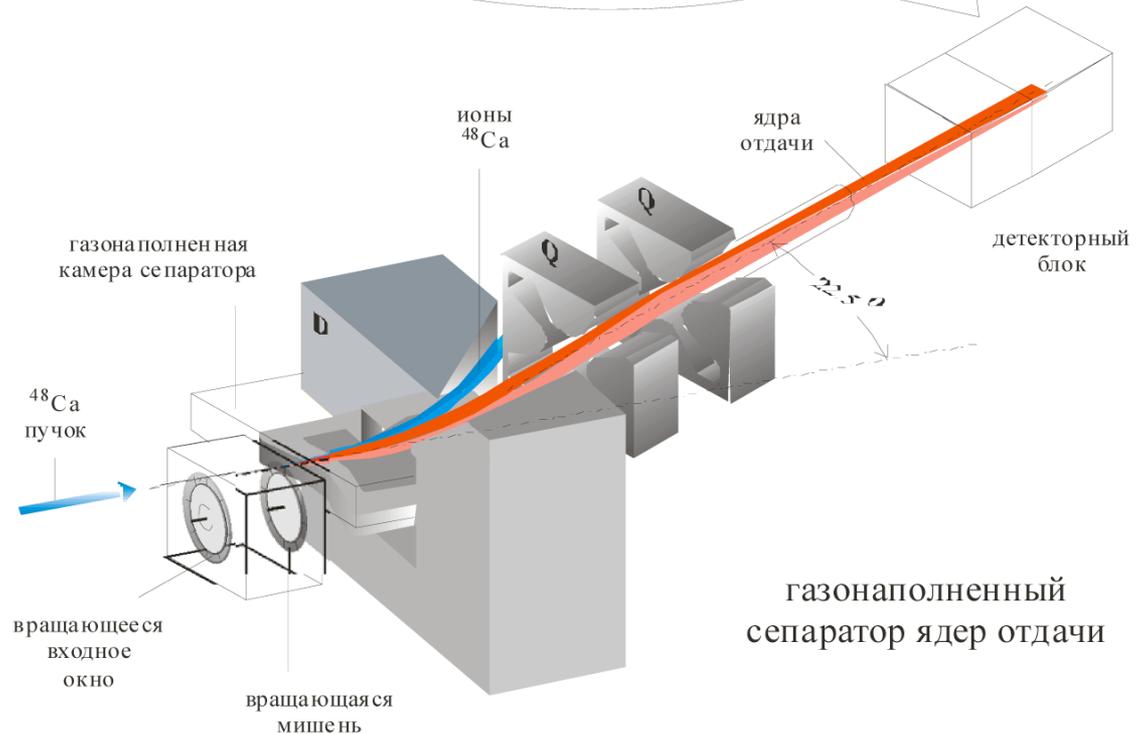
Газонаполненный  
Сепаратор  
(водород  $10^{-3}$  атм)



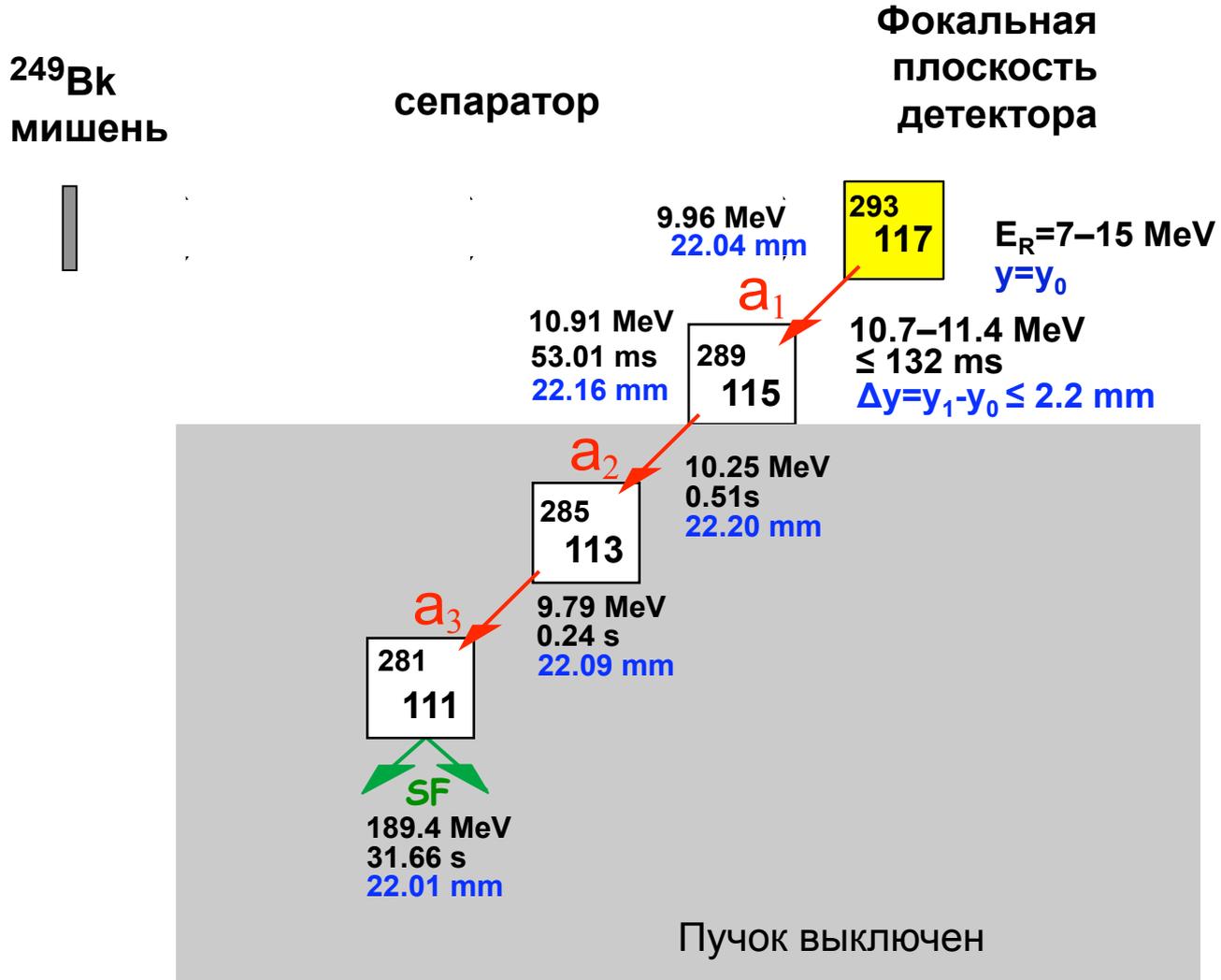
Эффективность  
регистрации:

для  $\alpha$ -частиц 87%

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

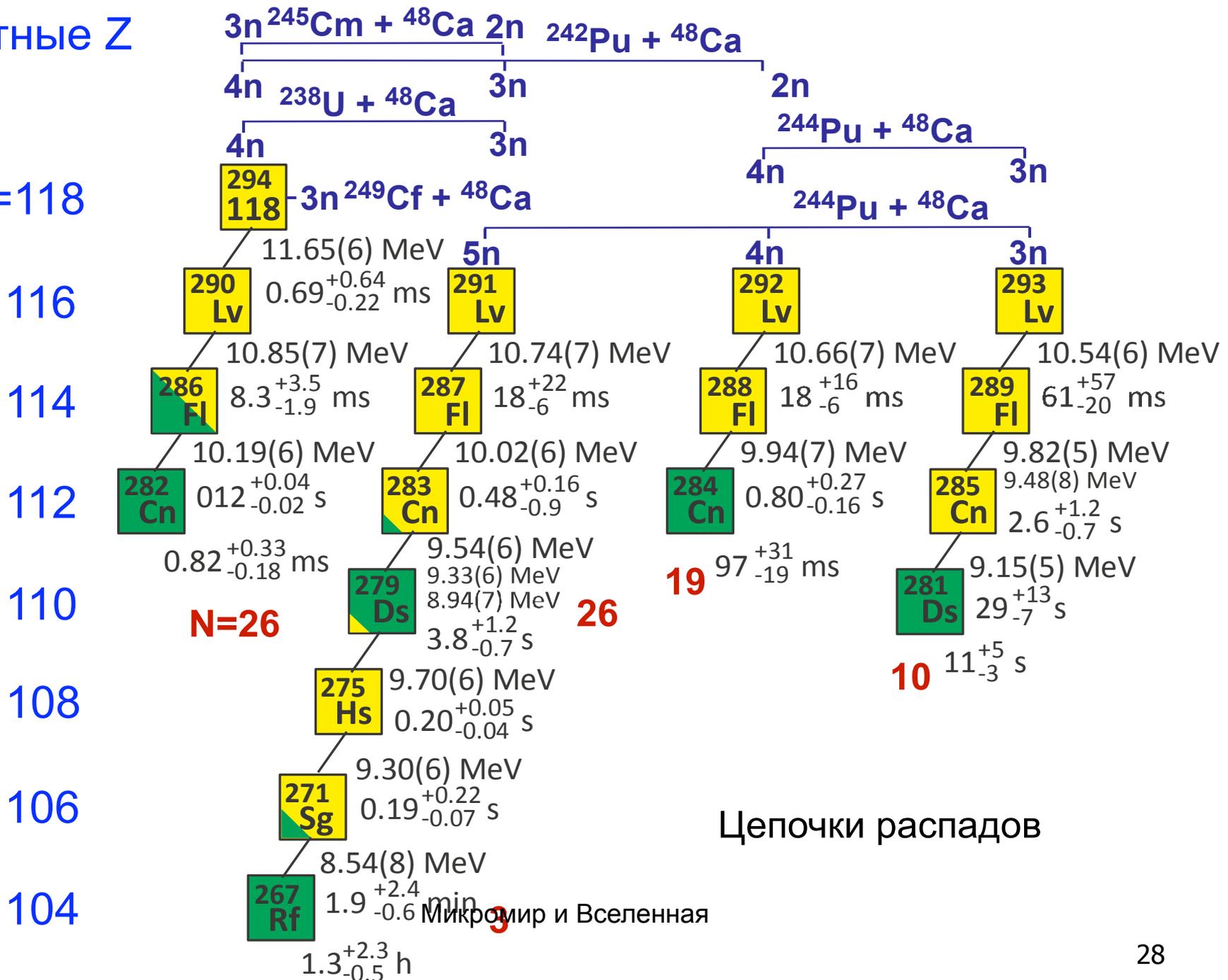


# Низкофоновая схема детектирования



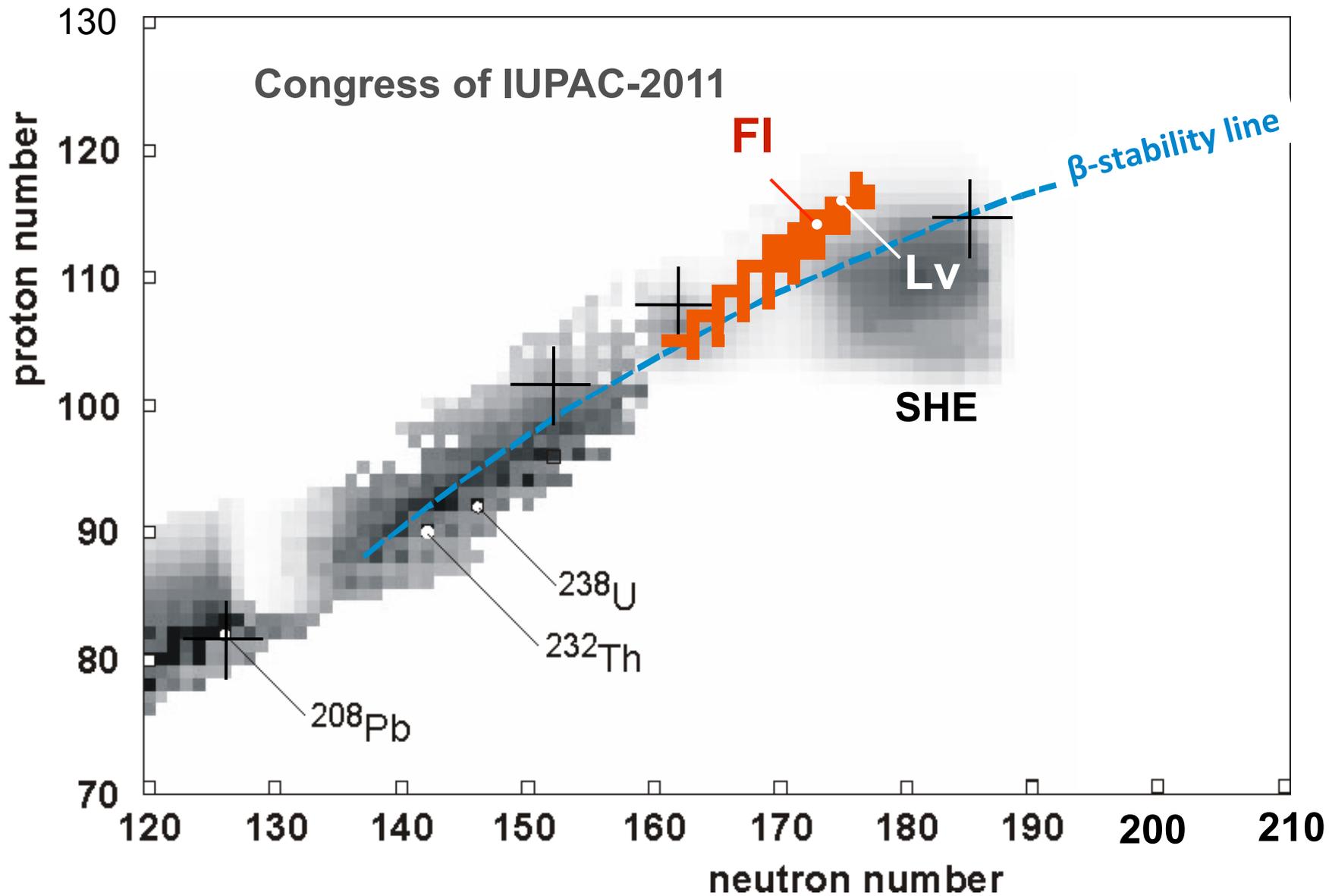
# Четные Z

Z=118



Цепочки распадов

Микромир и Вселенная







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:**

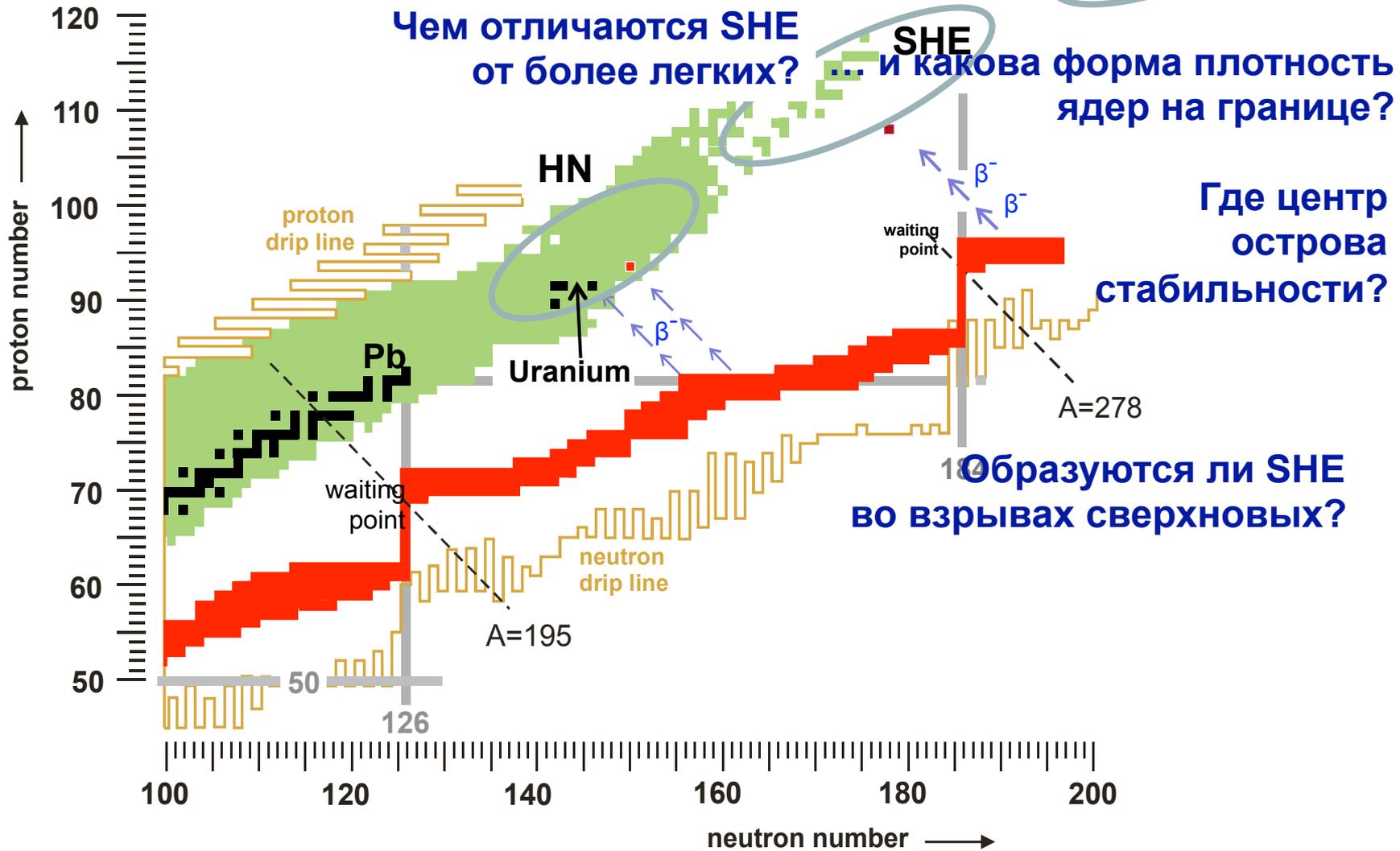
Предварительные рекомендации по названиям элементов **113**, **115**, **117**, **118**

(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).

# Вопросы:

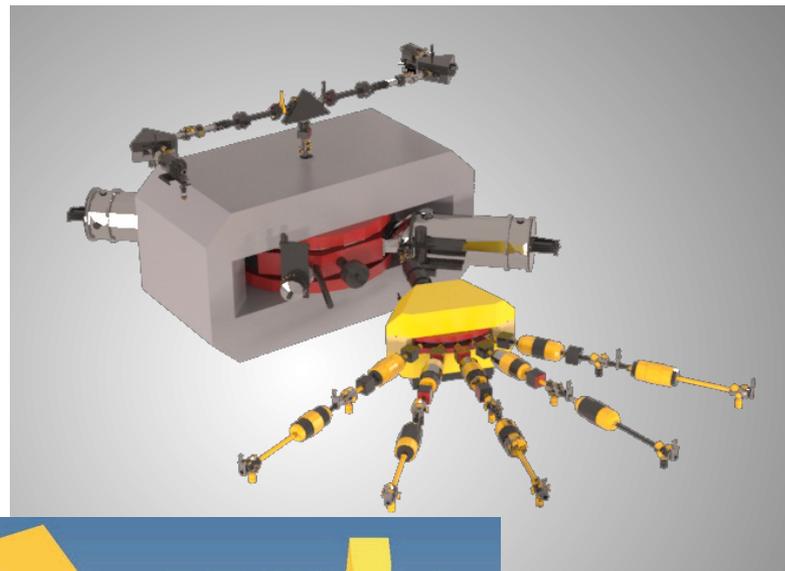
Где заканчиваются ядра?



# SHE - фабрика

2017: Тестирование пучков

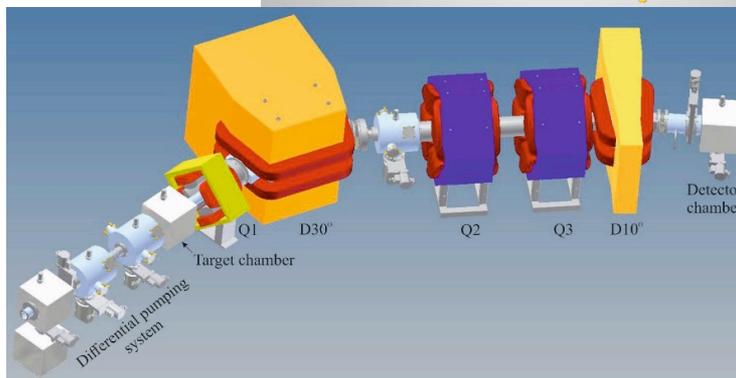
2018: Работы по наладке DC-280 завершены



## Циклотрон DC-280

### Новые установки:

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



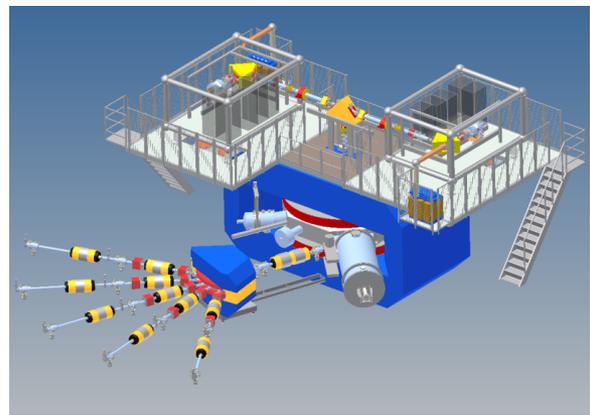
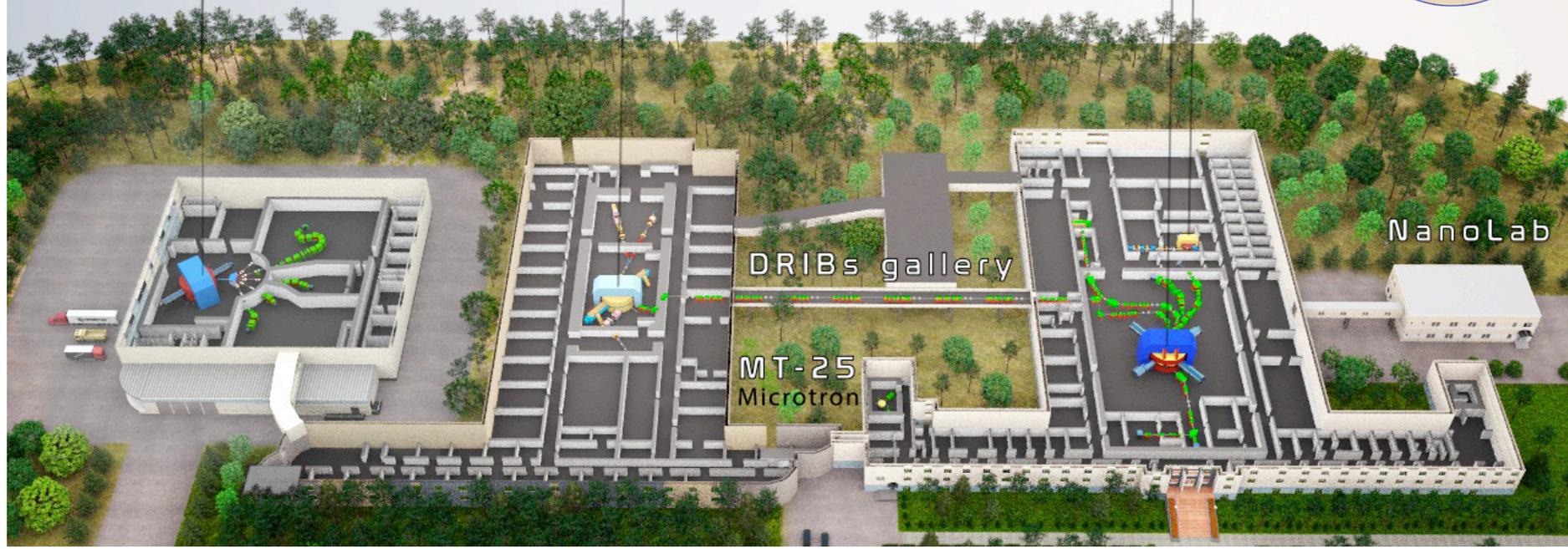


DC-280  
SHE factory

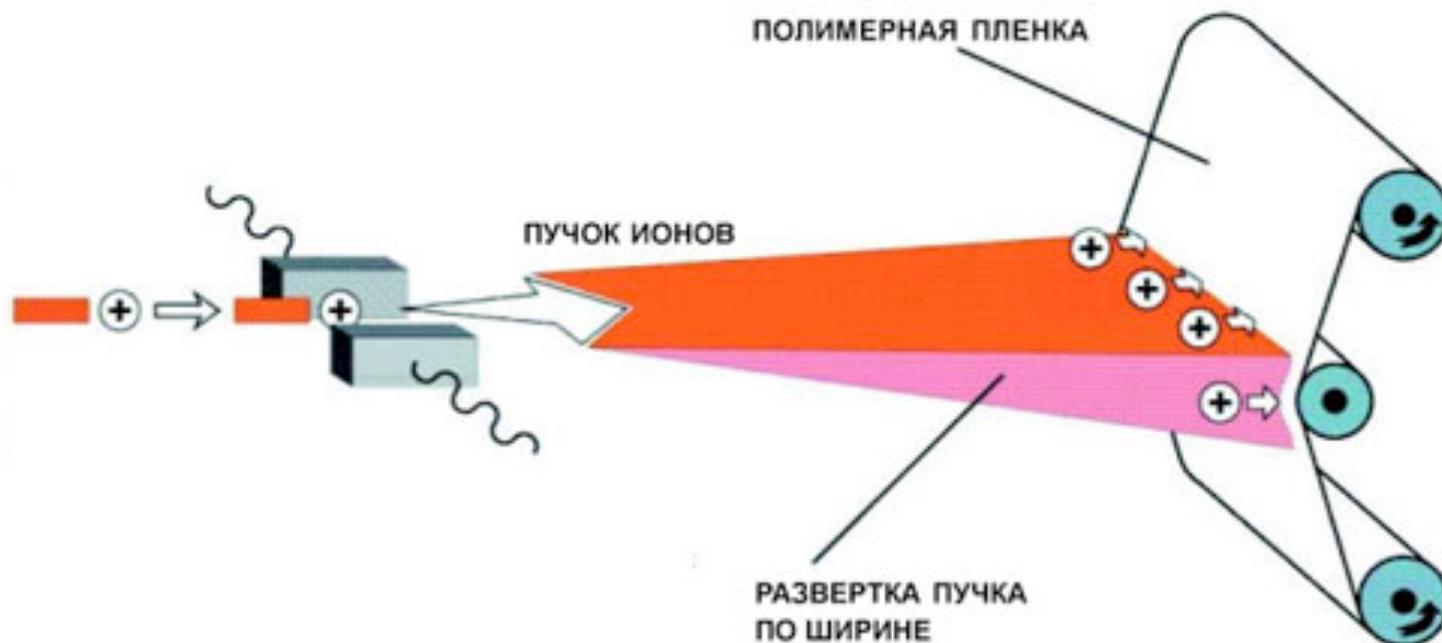
U-400  
Heavy and superheavy  
nuclei

U-400M  
Light exotic  
nuclei

IC-100  
Applied re



# Трековые мембраны



## ИЦ-100

диаметр полюсов

1 метр

Потребление энергии 150 кВт.

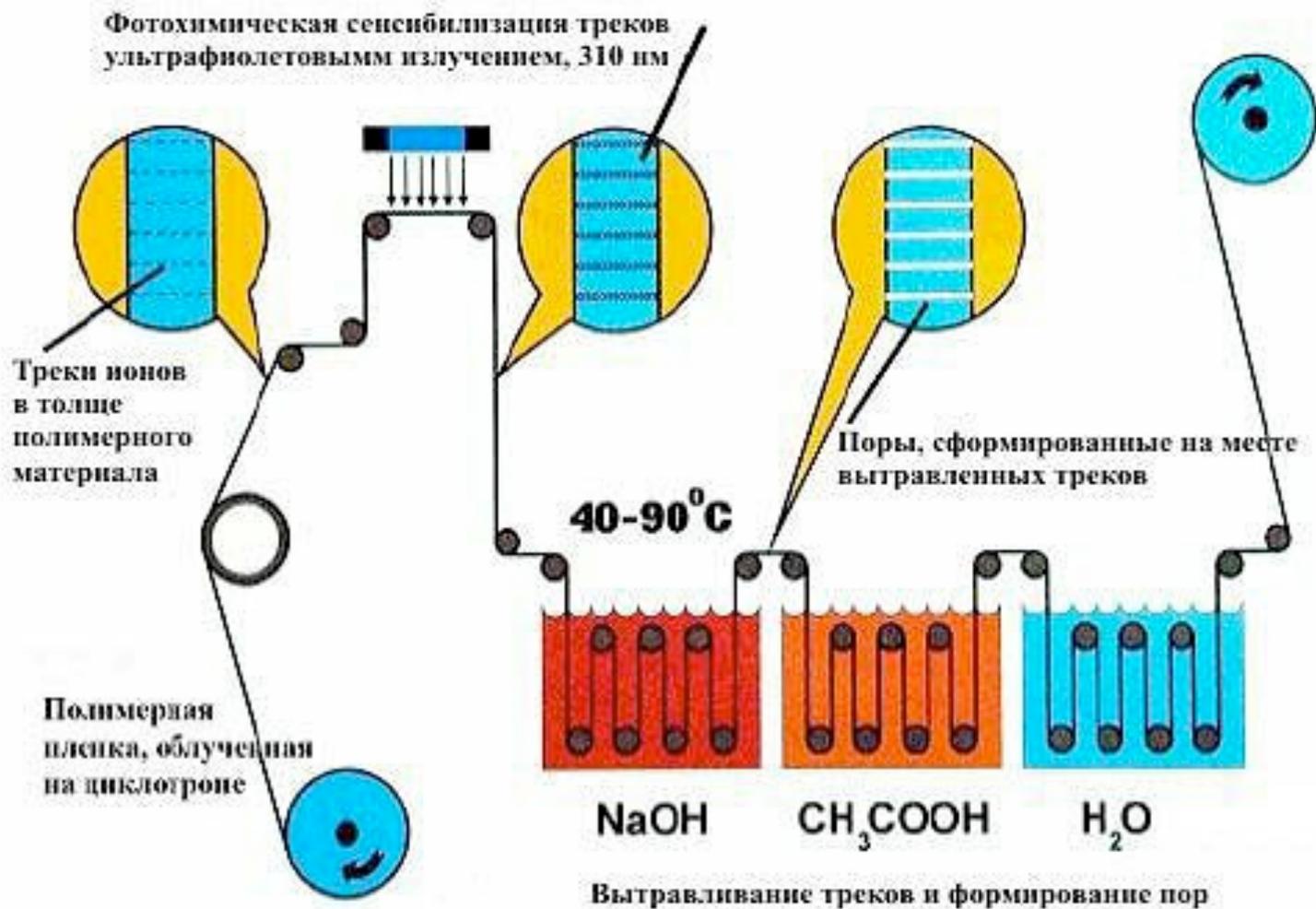
Энергия ионов (Xe, Kr)

1,2 МэВ/нуклон

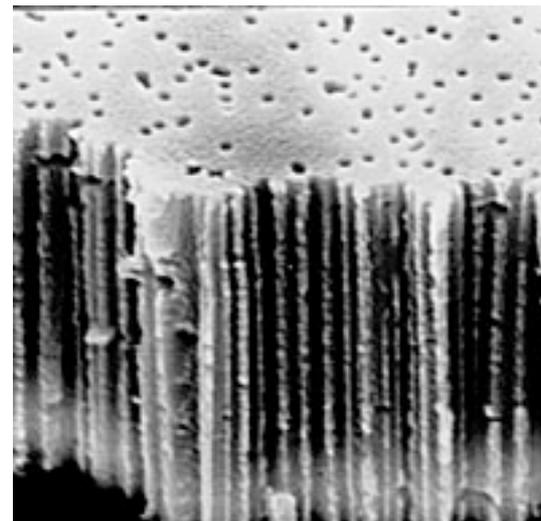
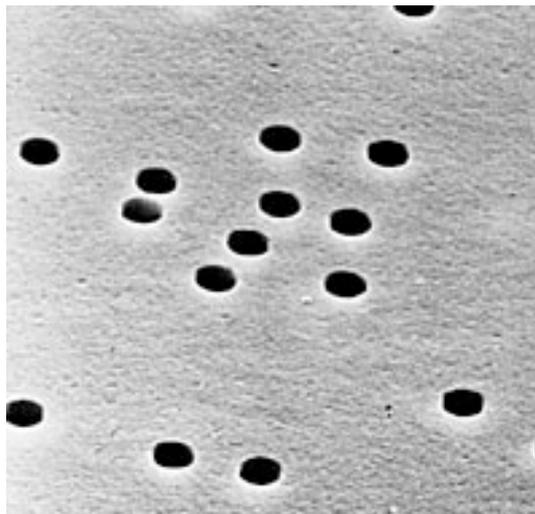
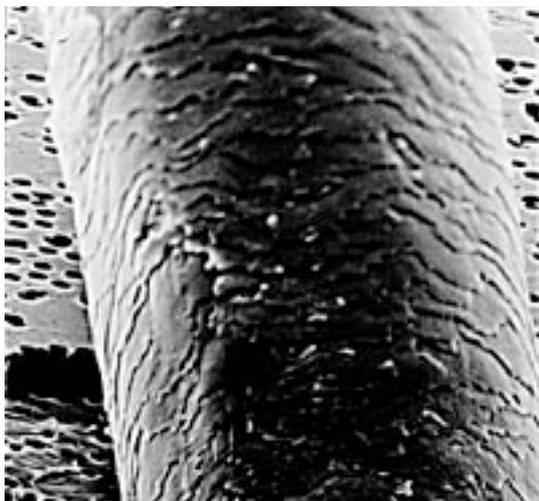
Толщина пленки

20 мкм

# Трековые мембраны



# Трековые мембраны



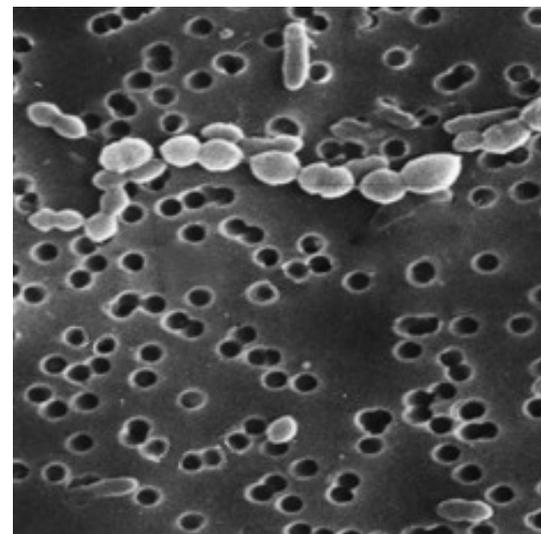
толщина –  
от 12 мкм до 21 мкм;

диаметр пор –  
от 30 нм до 15000 нм;

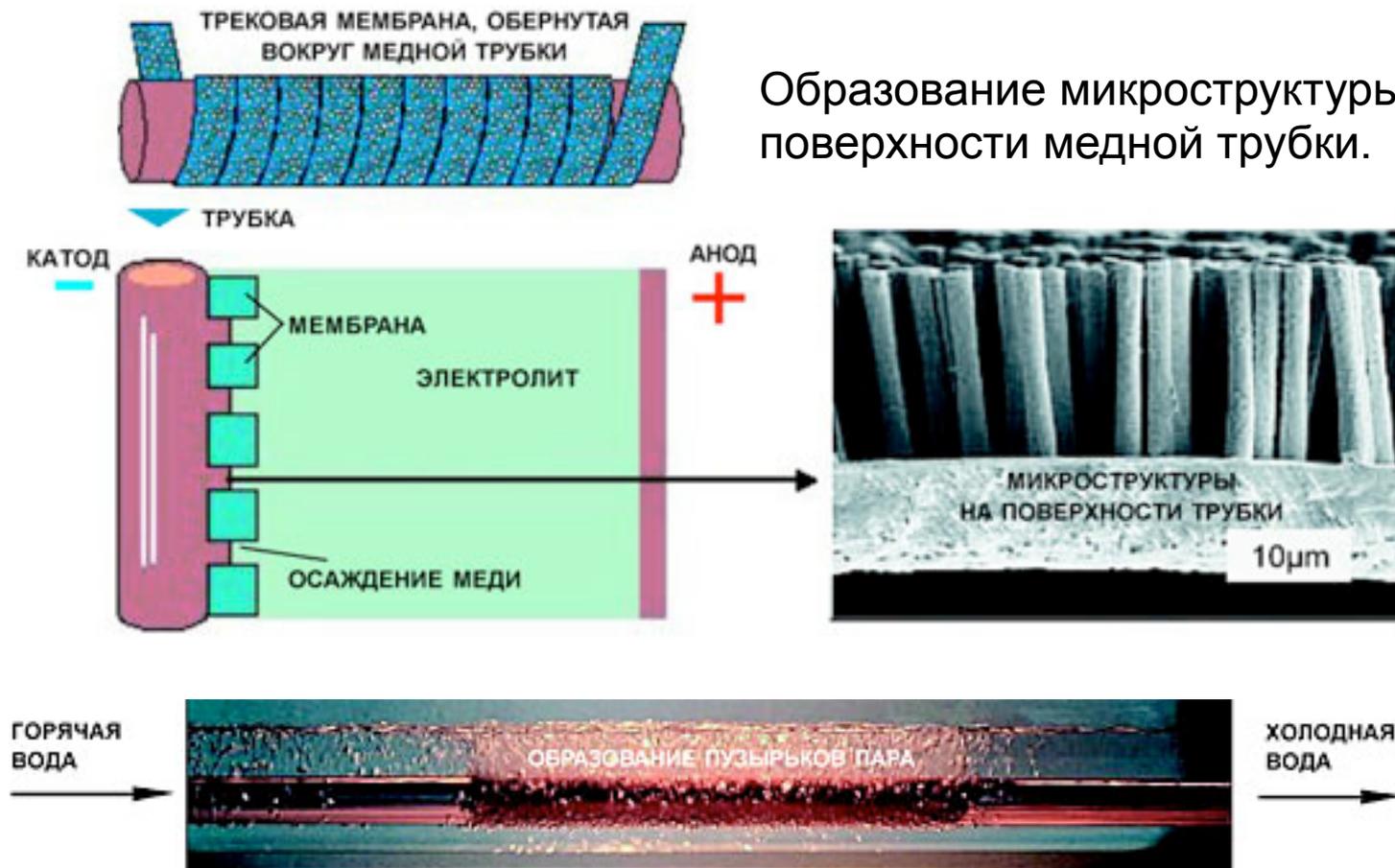
плотность –  
 $10^6 \div 10^8$  пор/см<sup>2</sup>



Загрязнение на поверхности мембраны в результате очистки водопроводной воды



# 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.

# Трековые мембраны

## Уникальность трековых мембран как фильтрующего материала:

- правильная геометрия пор;
- возможность контролировать количество пор на единице поверхности;
- исключительно малая дисперсия пор по размерам (2 - 5 %);
- высокая селективность;
- биологическая инертность;
- радиационная безопасность;
- низкий уровень дефектности

## Лабораторная фильтрация



## Очистка воды в домашних условиях



## Медицина



## Промышленная фильтрация



## Сенсоры



## Культивирование клеток



## Мембранный катализ



## Нанотехнологии

