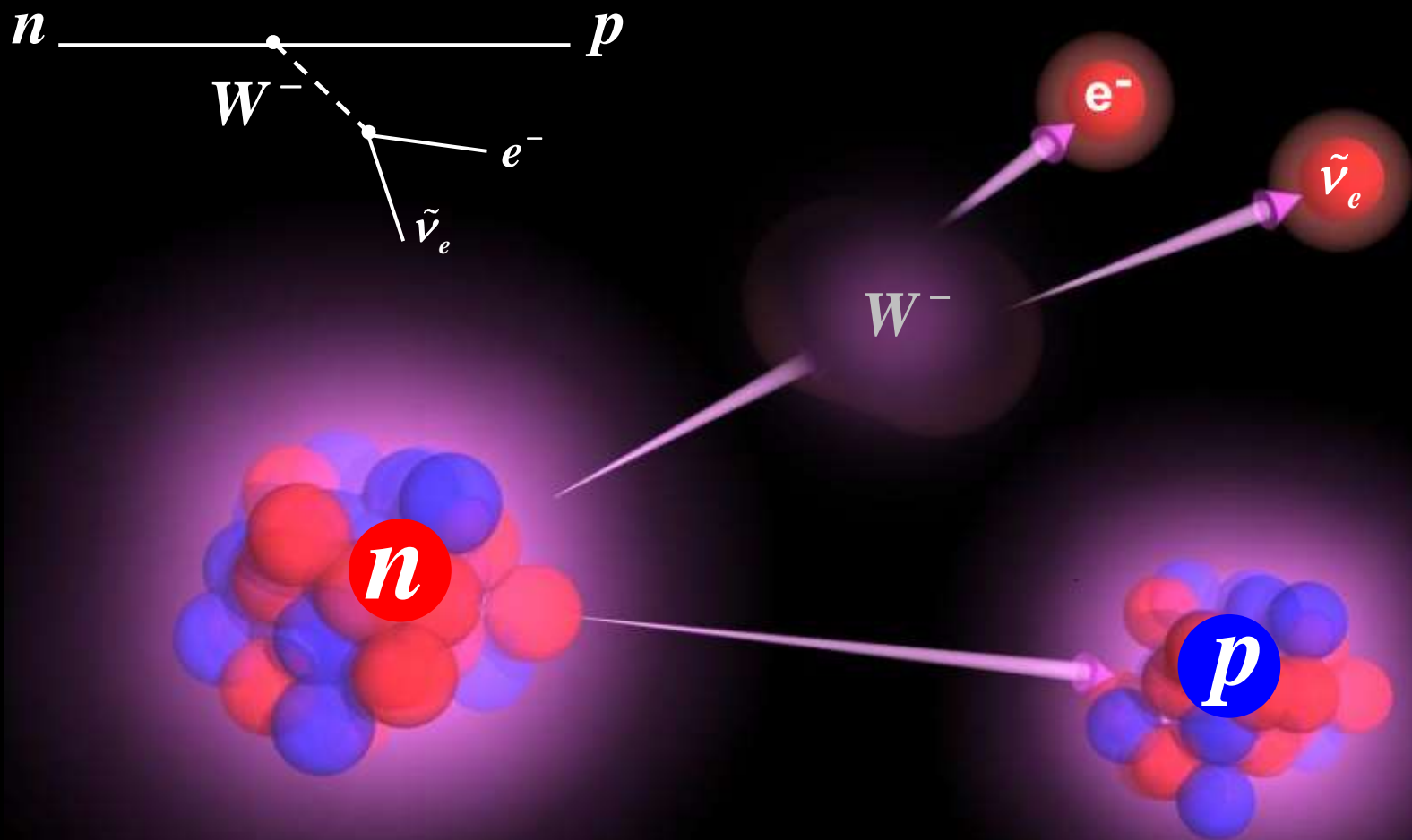


# Рождение и жизнь атомных ядер



# **Синтез сверхтяжелых элементов**

# Периодическая система элементов Менделеева

ГРУППА

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

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	2											18	19				
1	2											18	19				
3	4											5	6	7	8	9	10
11	12											13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
55	56		72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
87	88																

\* Lanthenoids

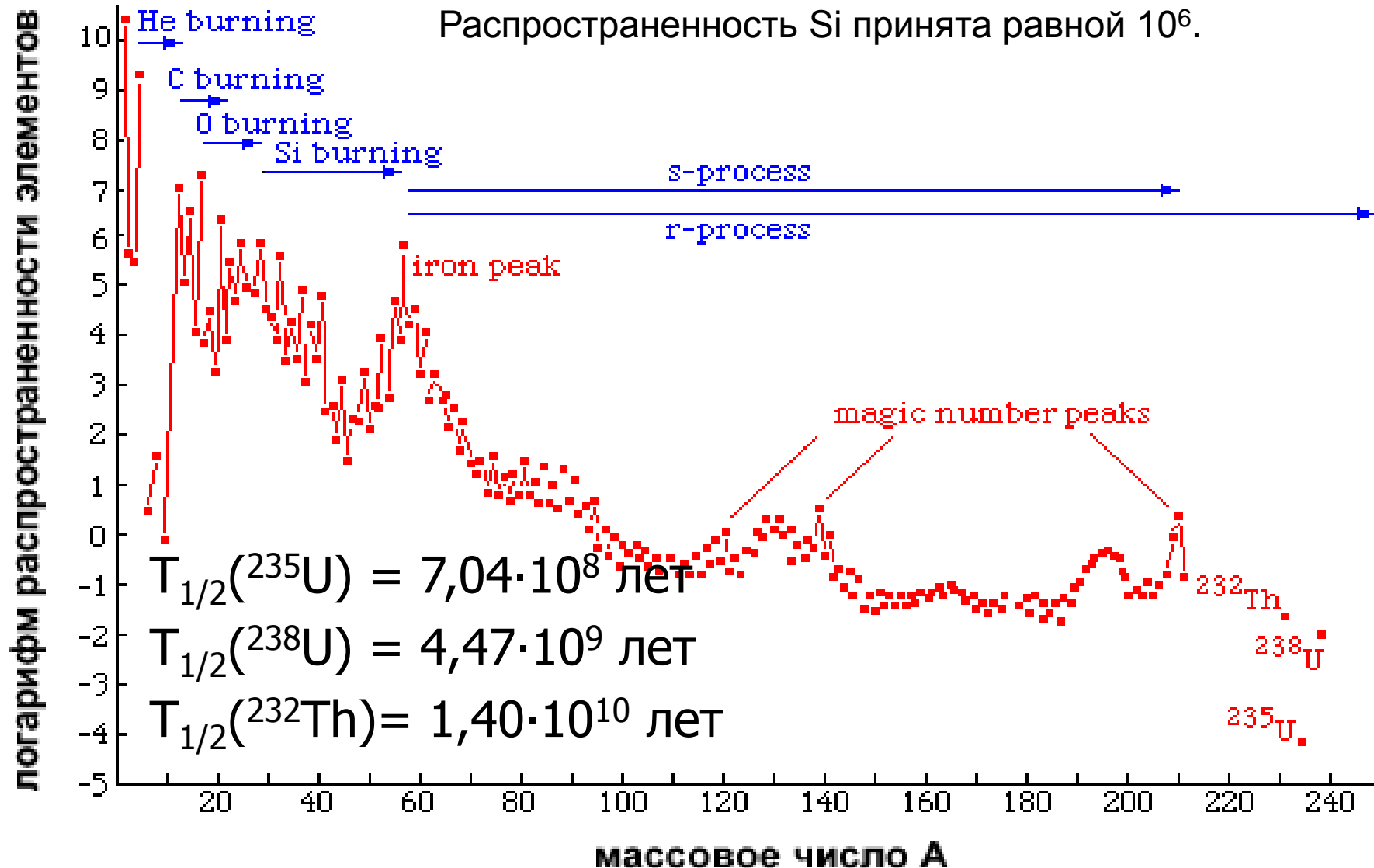
57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu

\*\* Actinoids

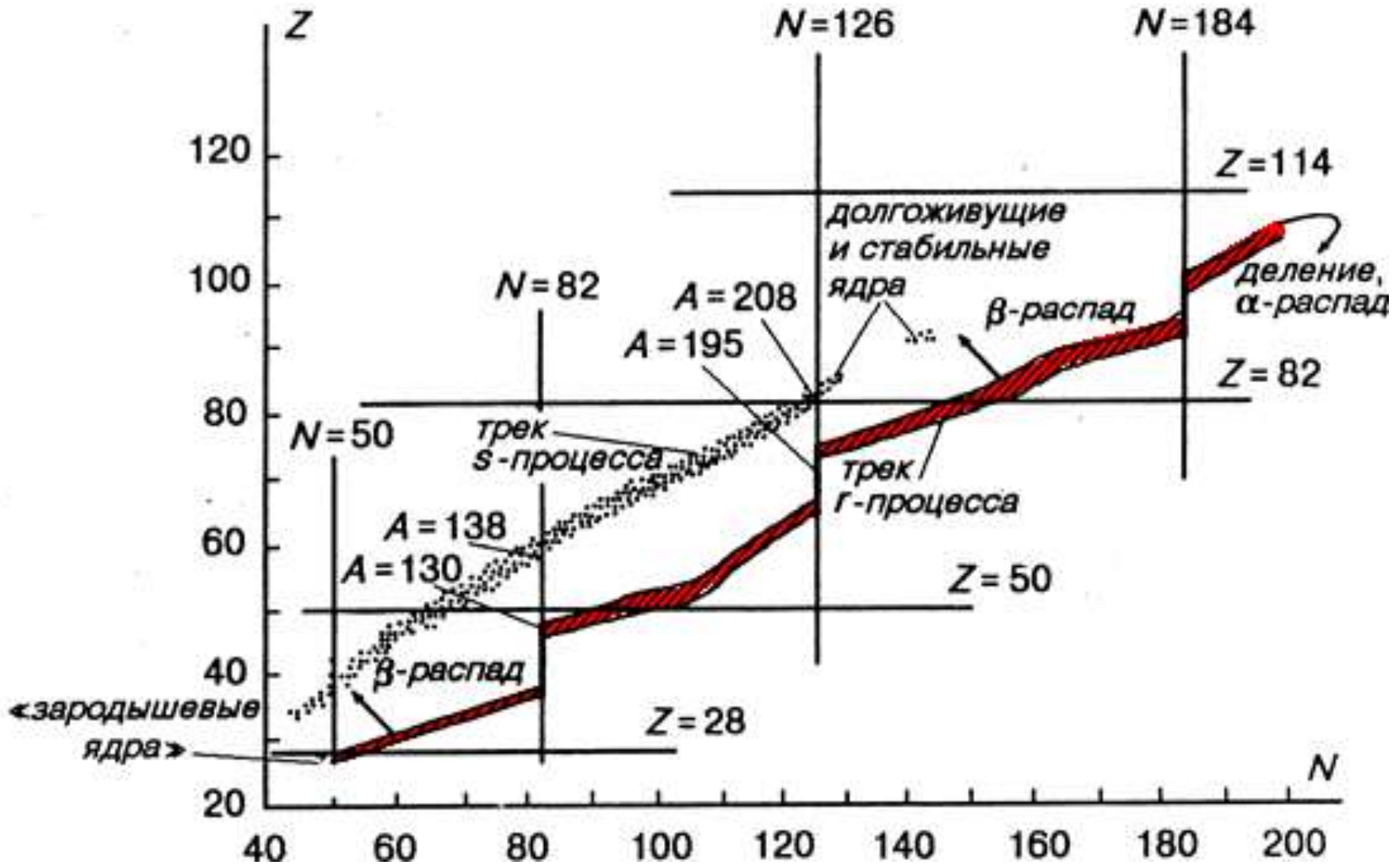
89	90	91	92
Ac	Th	Pa	U

# Распространенность нуклидов во Вселенной

Распространенность Si принята равной  $10^6$ .



# Взрывной нуклеосинтез



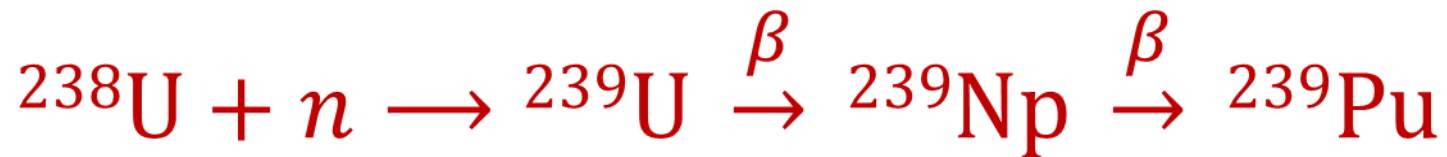
# АКТИНОИДЫ

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

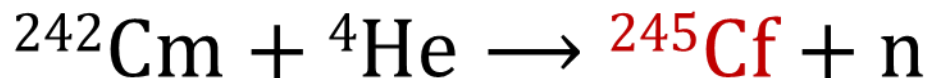
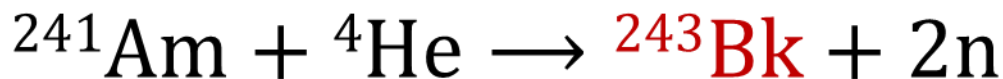
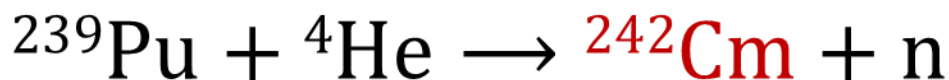
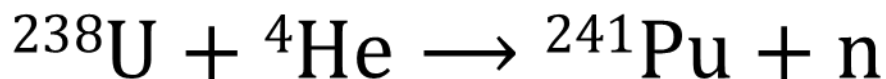


# АКТИНОИДЫ

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



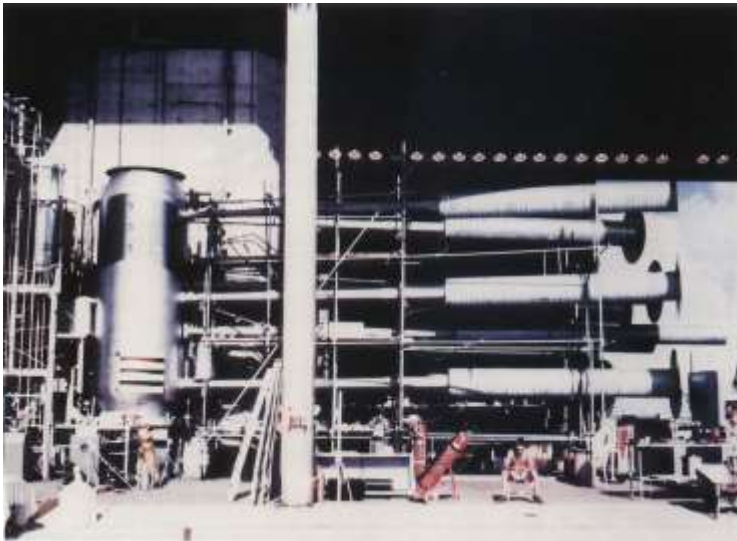
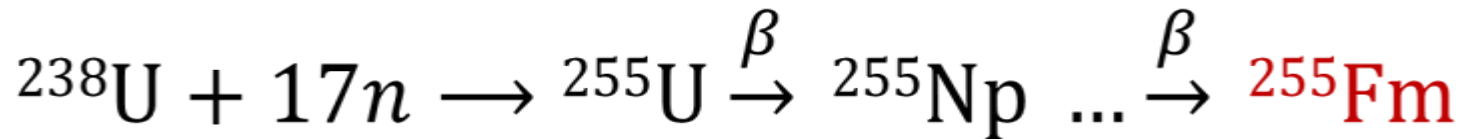
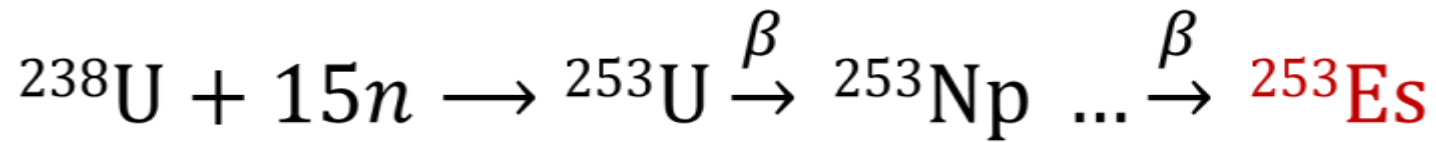
Наиболее  
долгоживущие изотопы

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	$^{249}\text{Cm} + ^{10,11}\text{B} \rightarrow$

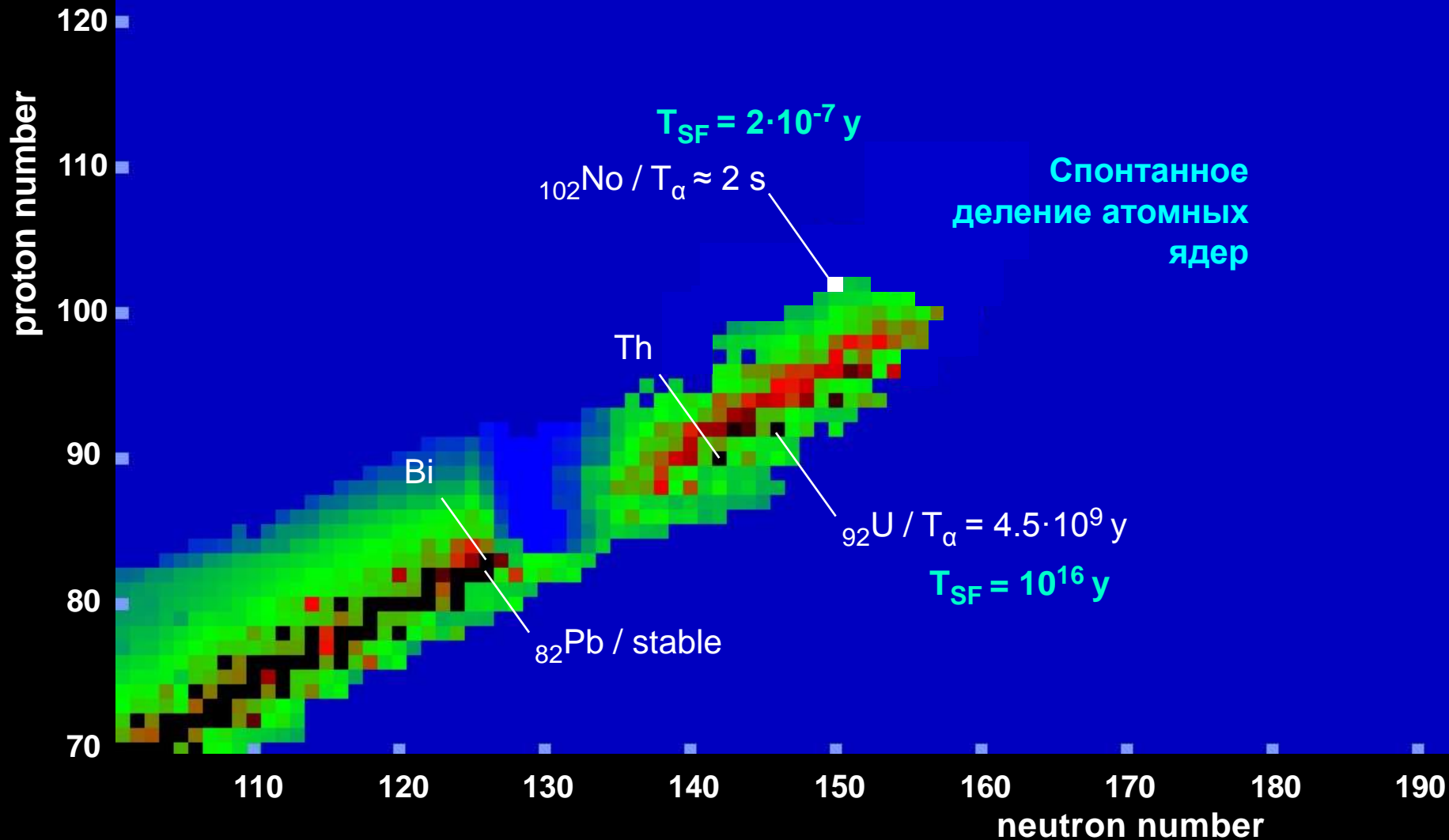
Наиболее  
долгоживущие изотопы

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:

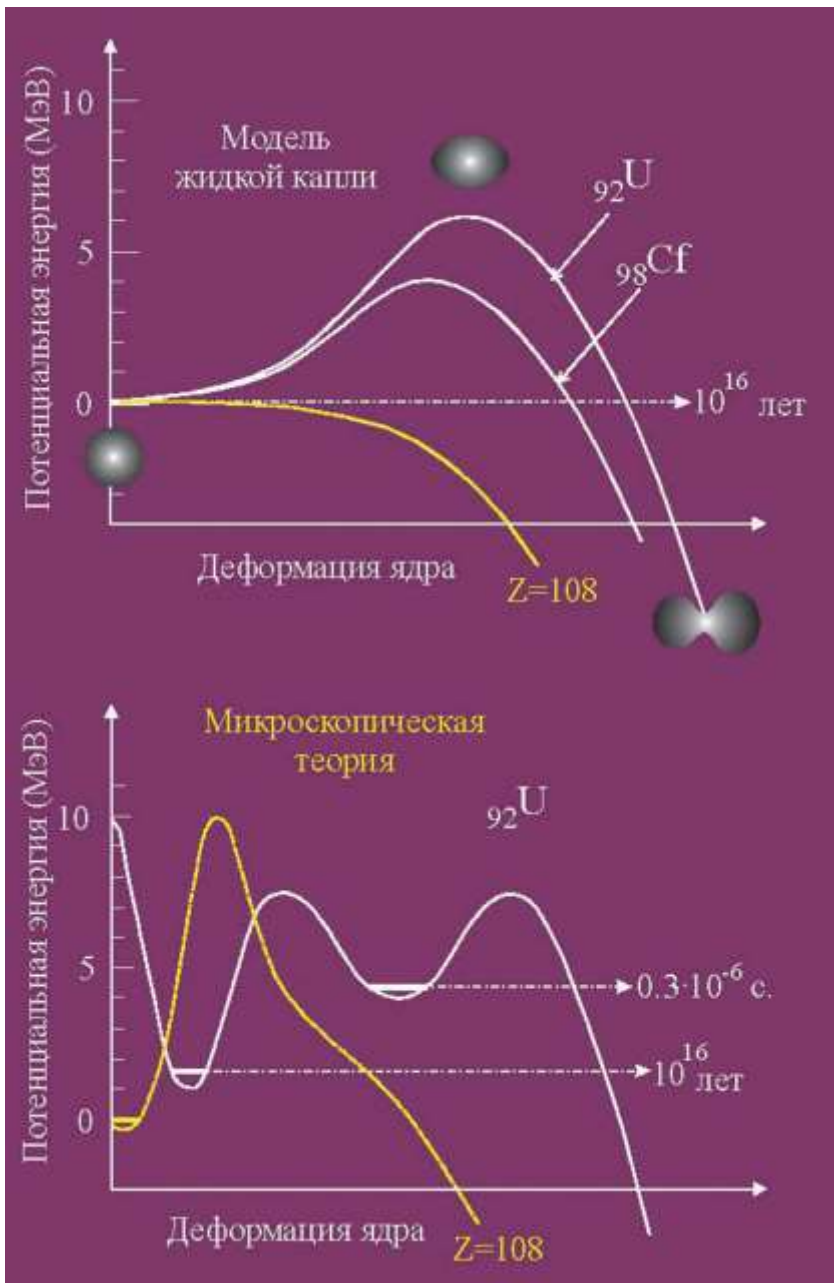
- Отсутствие в требуемых количествах мишеней из тяжелых трансурановых элементов.
- Существенное уменьшение по мере увеличения Z времени жизни изотопов, что значительно усложняет их идентификацию.

около 50 лет назад...

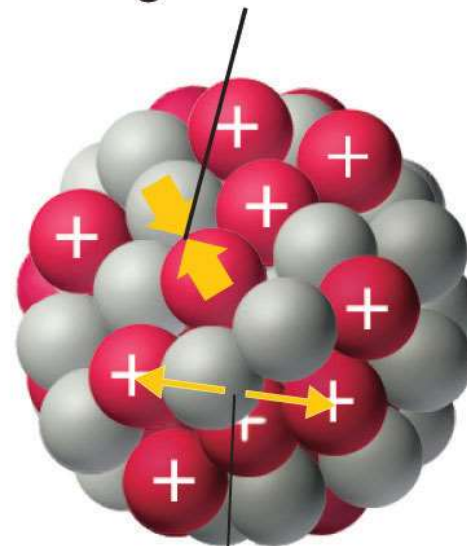


## Капельная модель

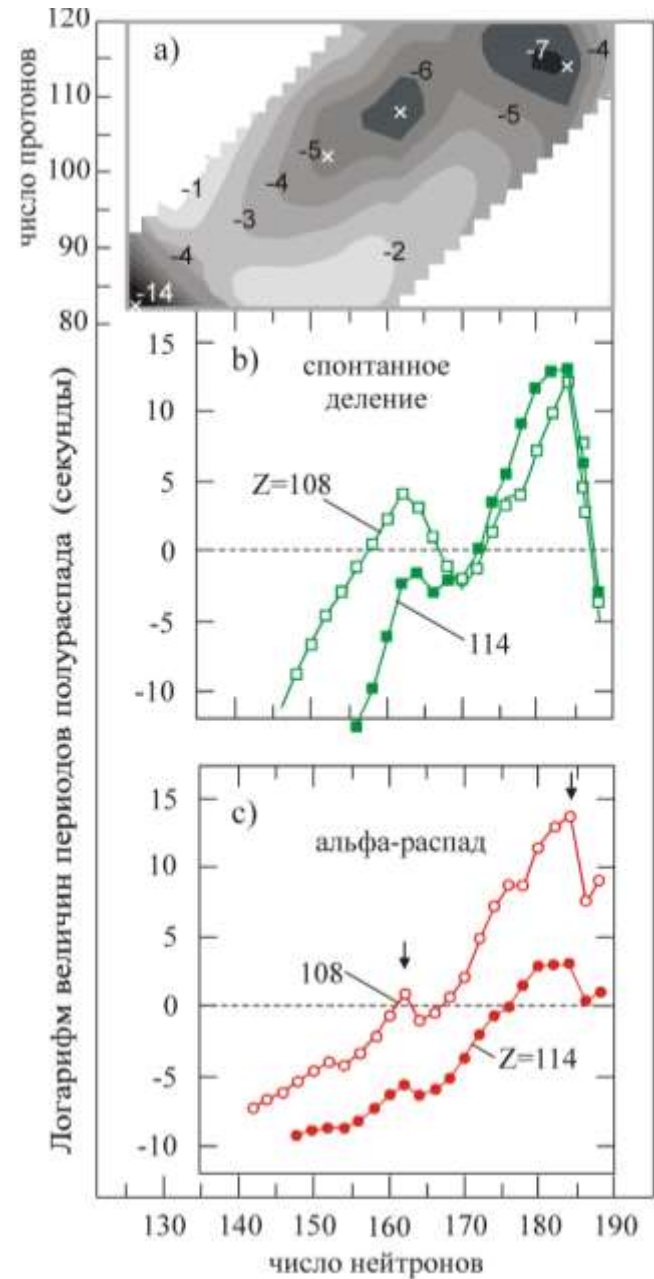
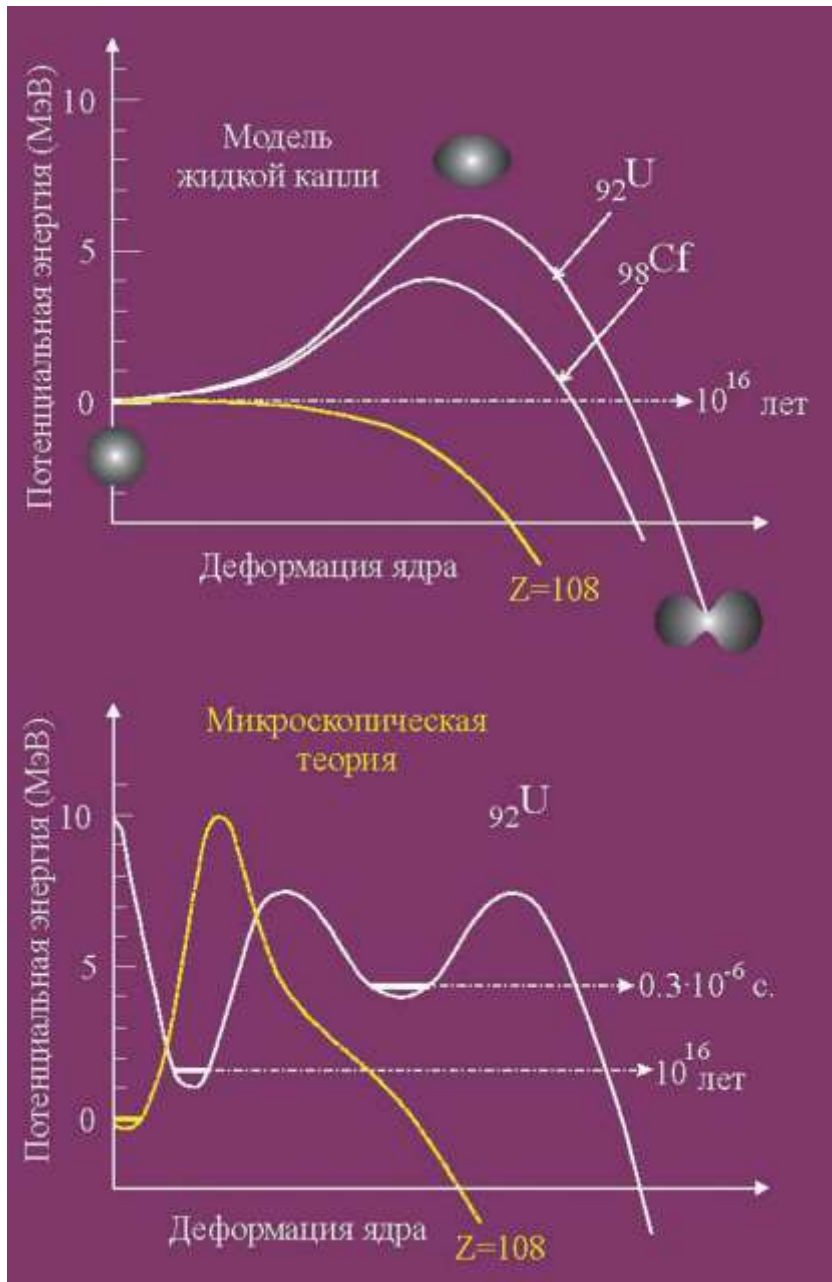
Для  $Z \geq 104$  время жизни  $\sim 10^{-19}$  с



Strong nuclear force

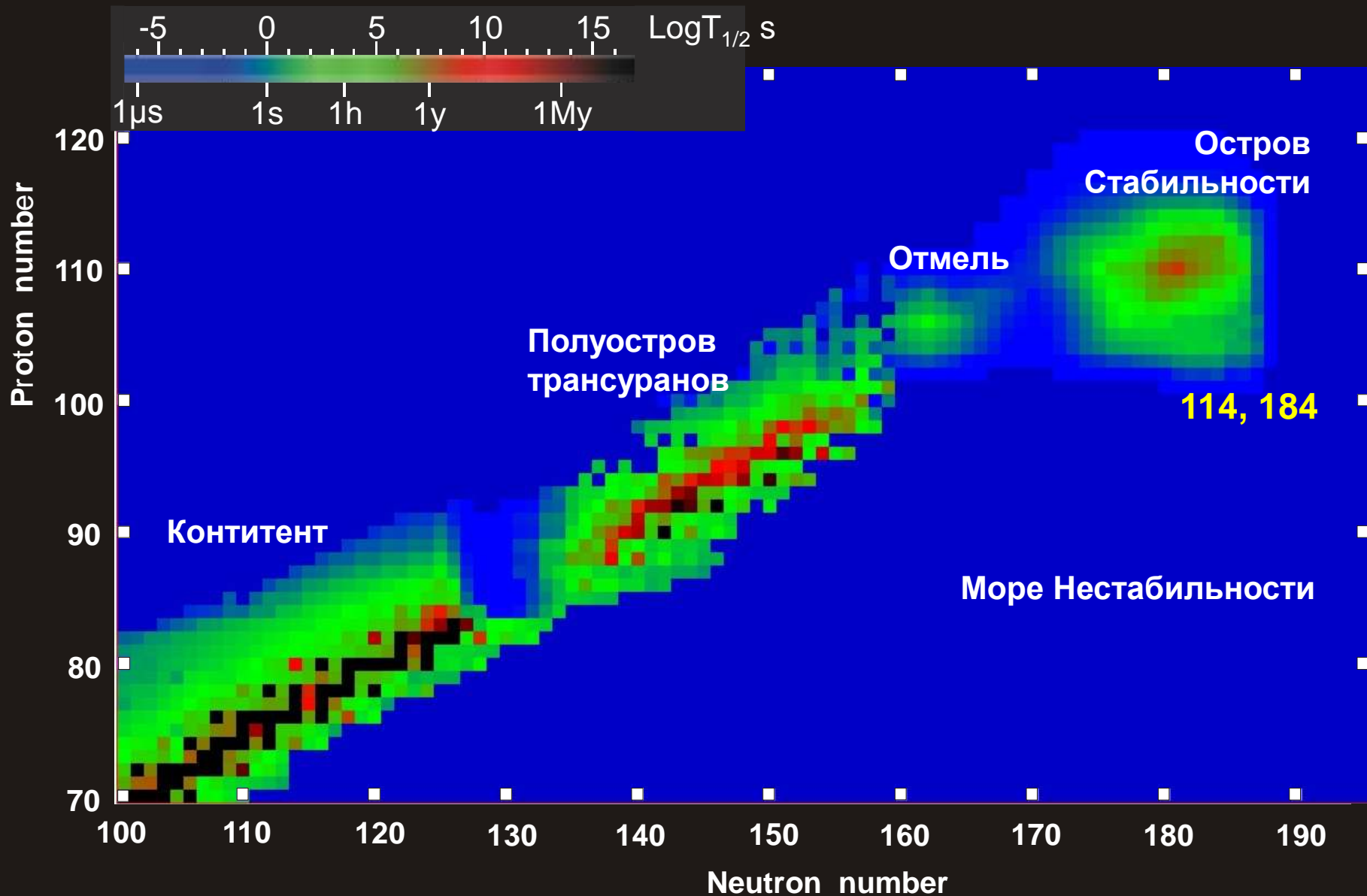


Electrostatic repulsion



New lands

# Макро-микроскопическая теория ядра

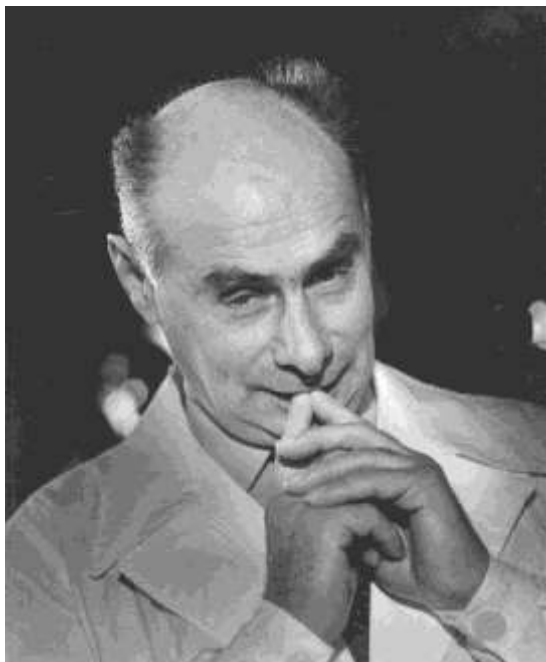


# Горячее слияние

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

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



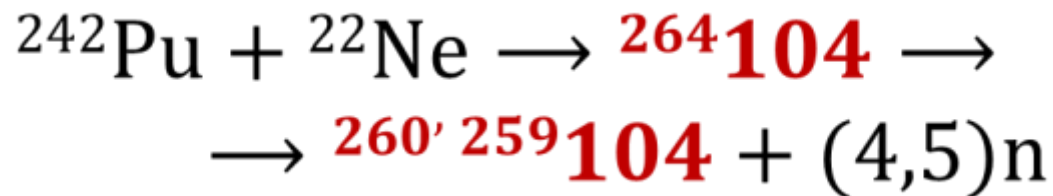
Георгий Николаевич  
**ФЛЕРОВ**

На 2015 г:

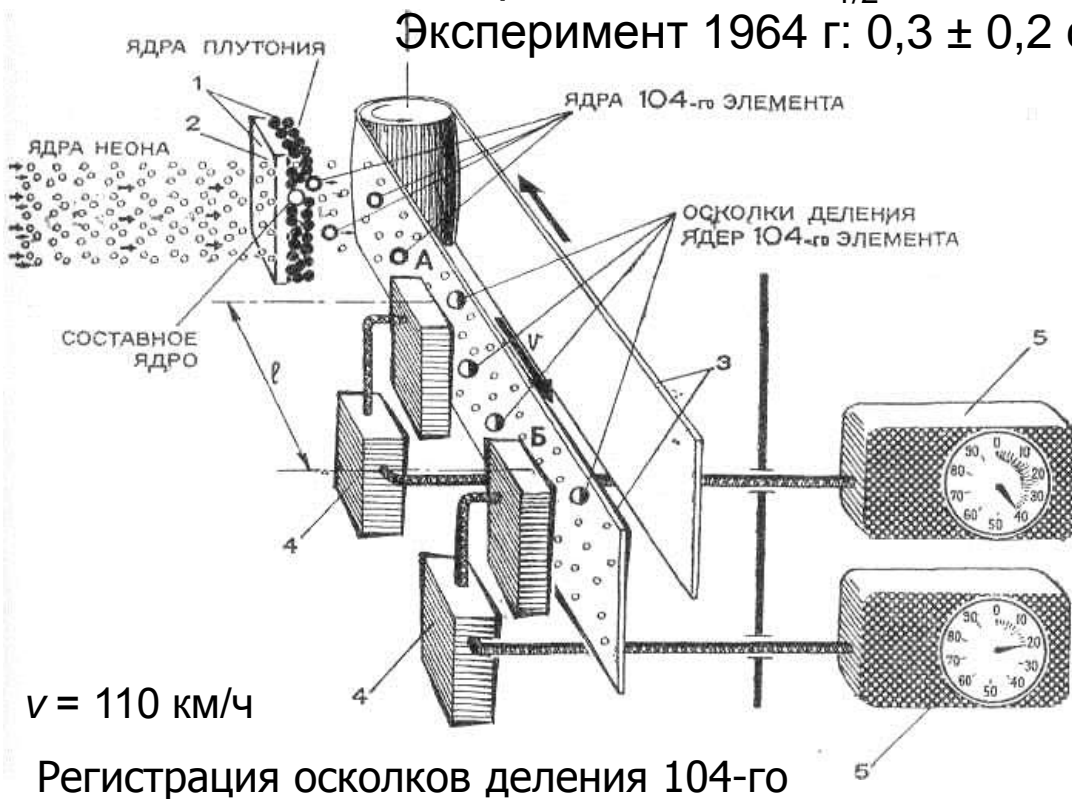
$T_{1/2} (^{259}\text{Rf}) \sim 3,2 \text{ с}$

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

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

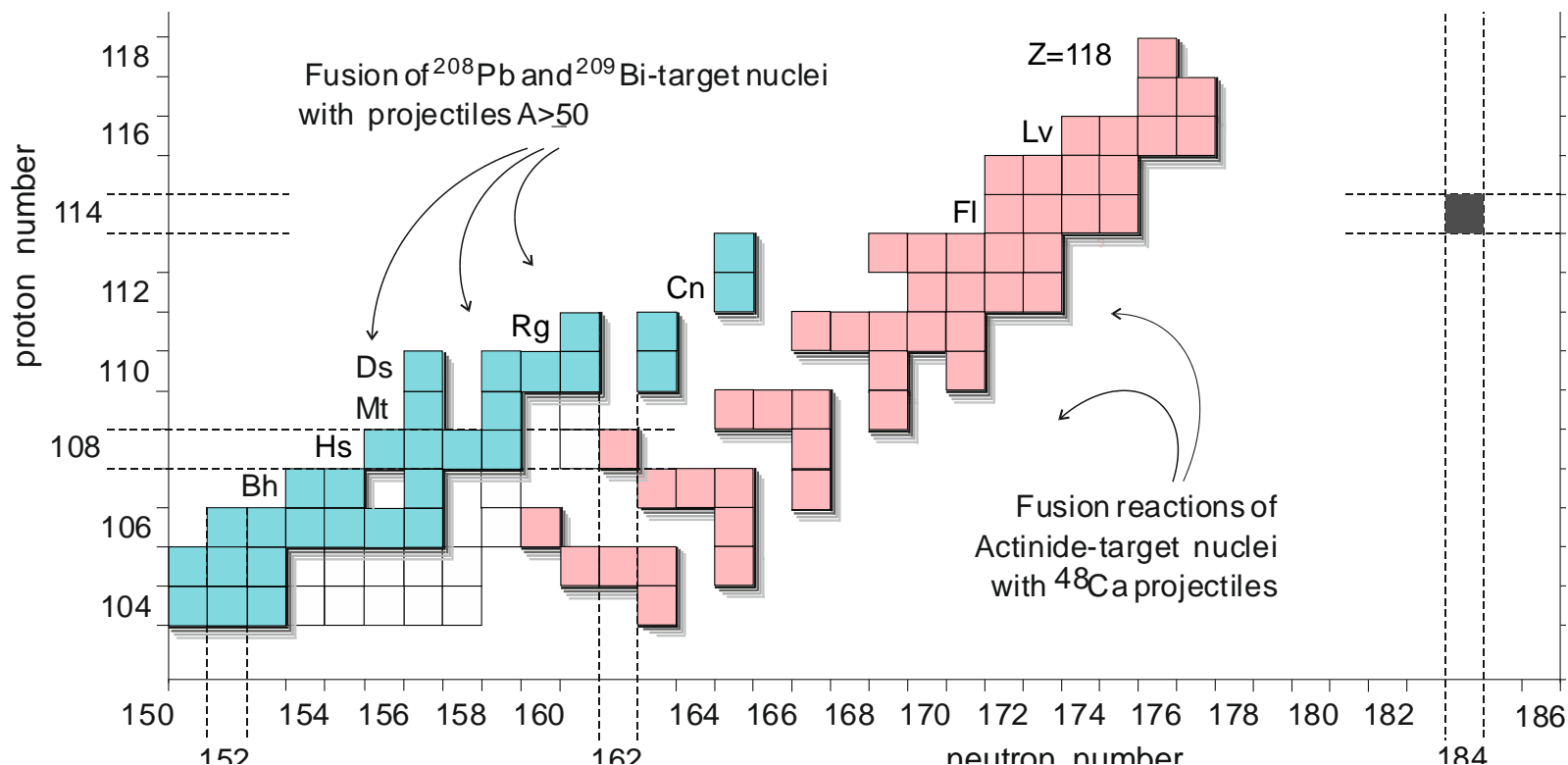
- Рост кулоновского отталкивания при  $Z > 50$  ( $^{208}\text{Pb} + ^{50}\text{Zn} : Z_1 \times Z_2 = 2460$ )
- Недостаток нейтронов в компаунд-ядре



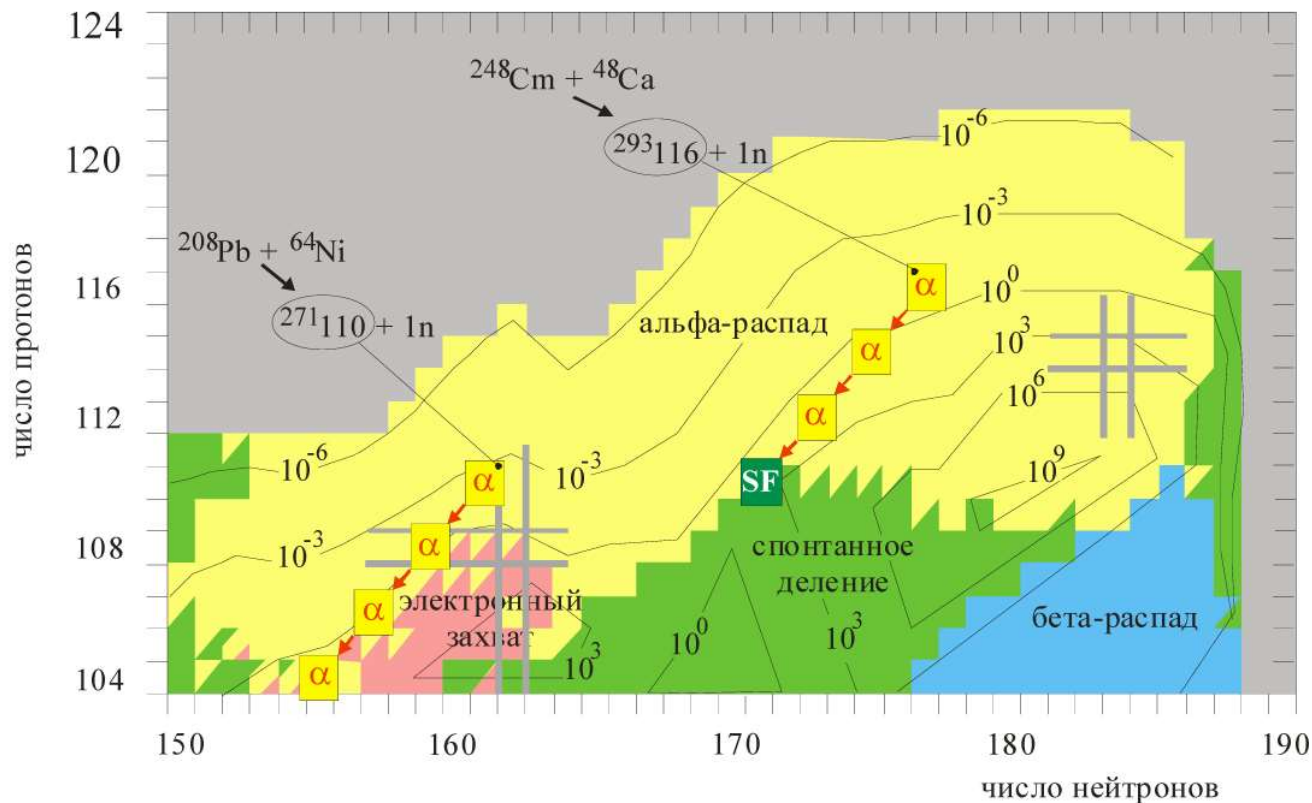
# $^{48}\text{Ca}$ + Actinide

- 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 $Z = 104 - 118$



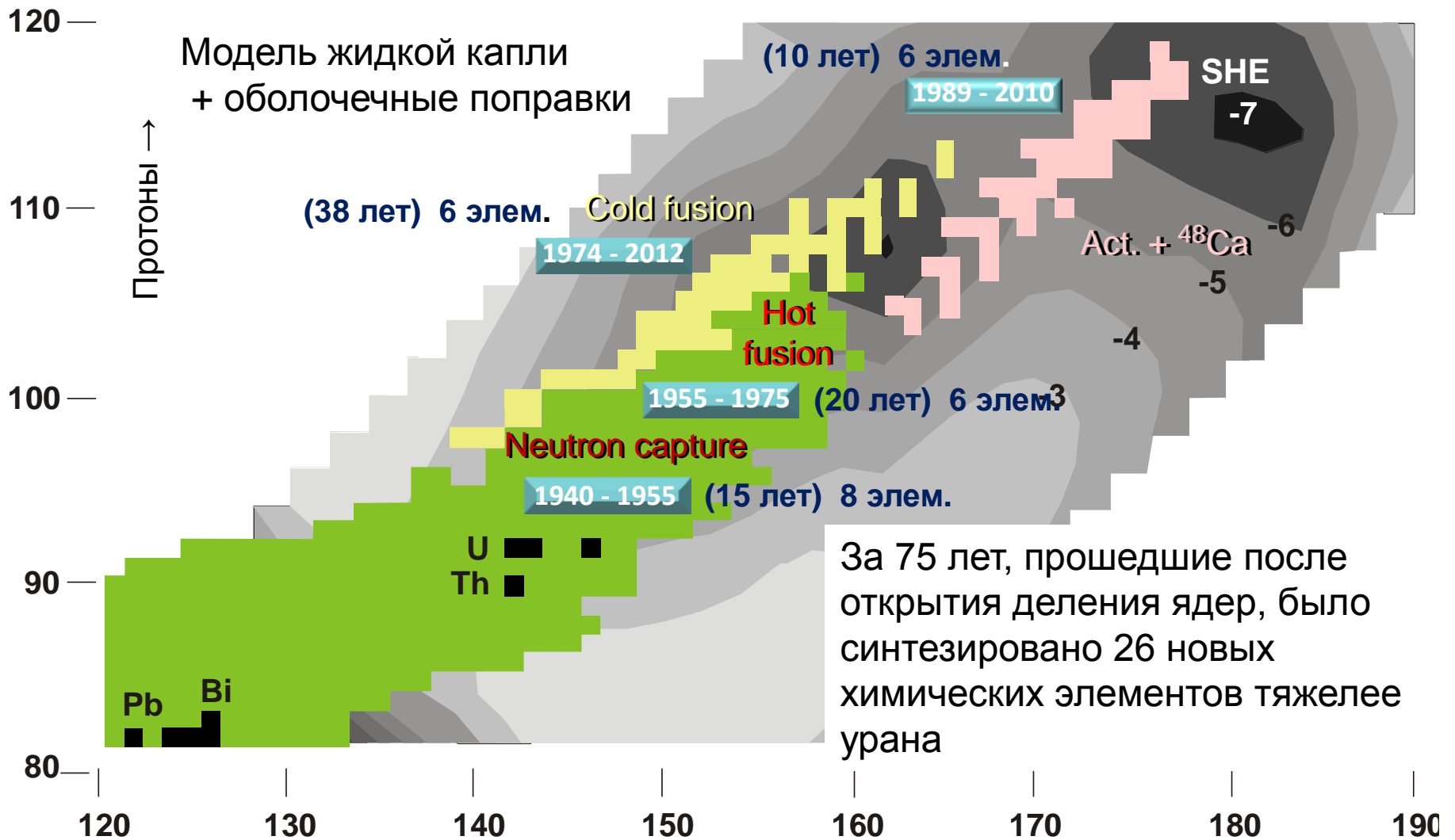
# $^{48}\text{Ca}$ + Actinide



- 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

# Синтез элементов

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



## Dubna Gas-Filled Recoil Separator

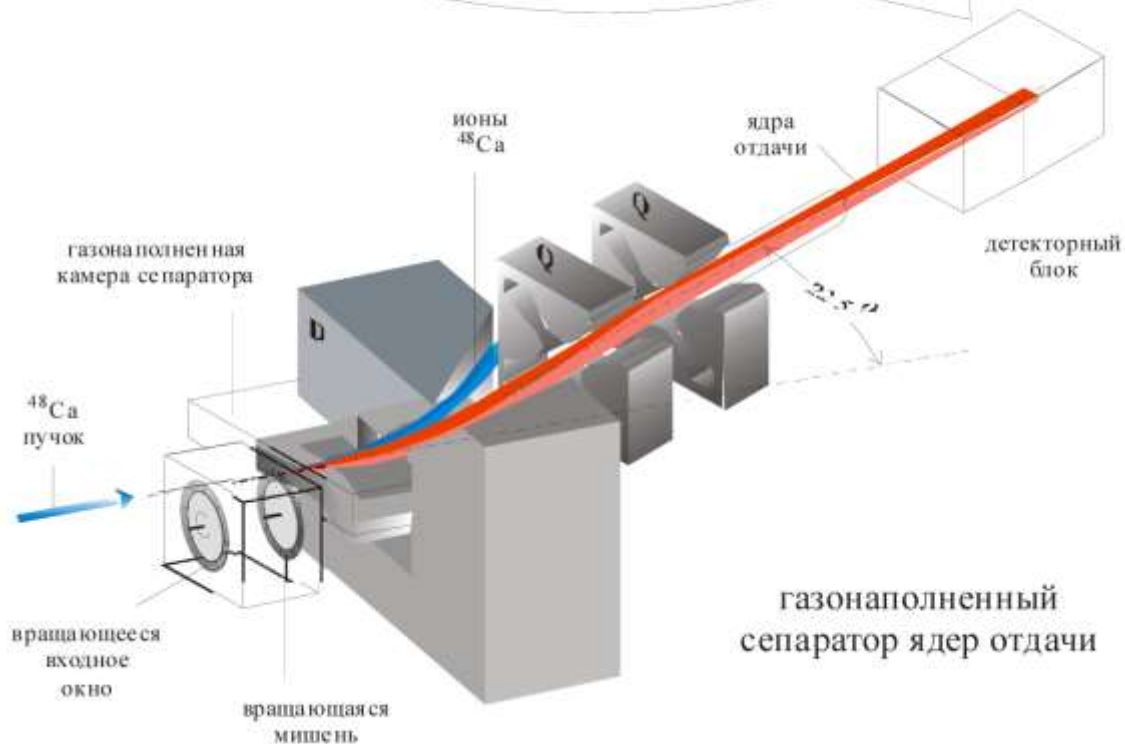
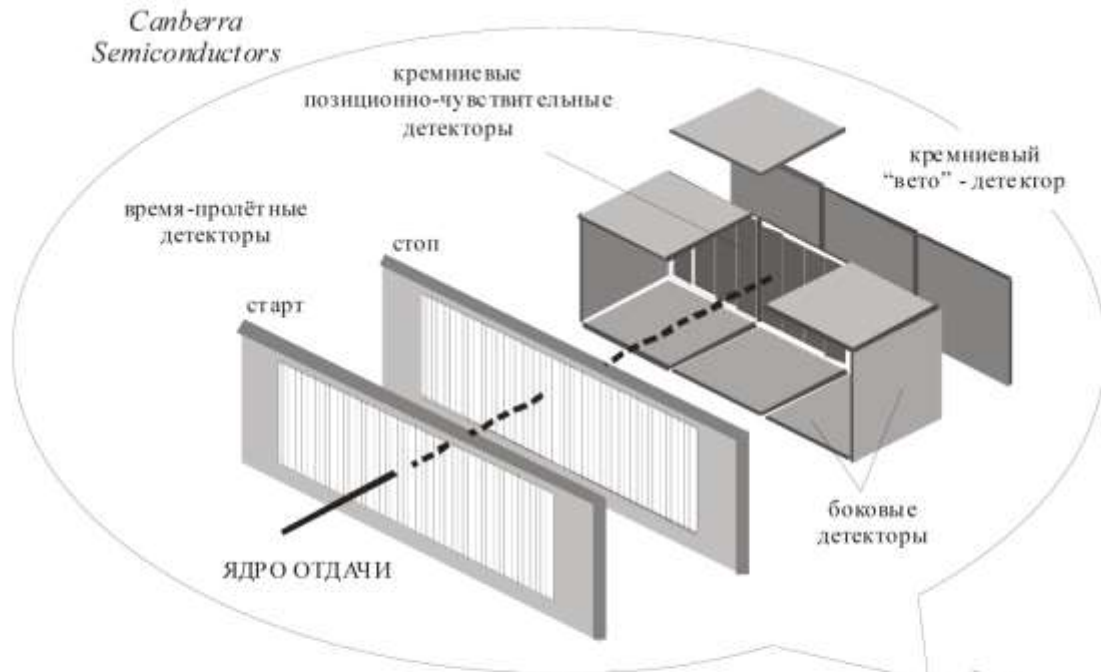
Газонаполненный  
Сепаратор  
(водород  $10^{-3}$  атм)

Эффективность  
регистрации:

для  $\alpha$ -частиц 87%

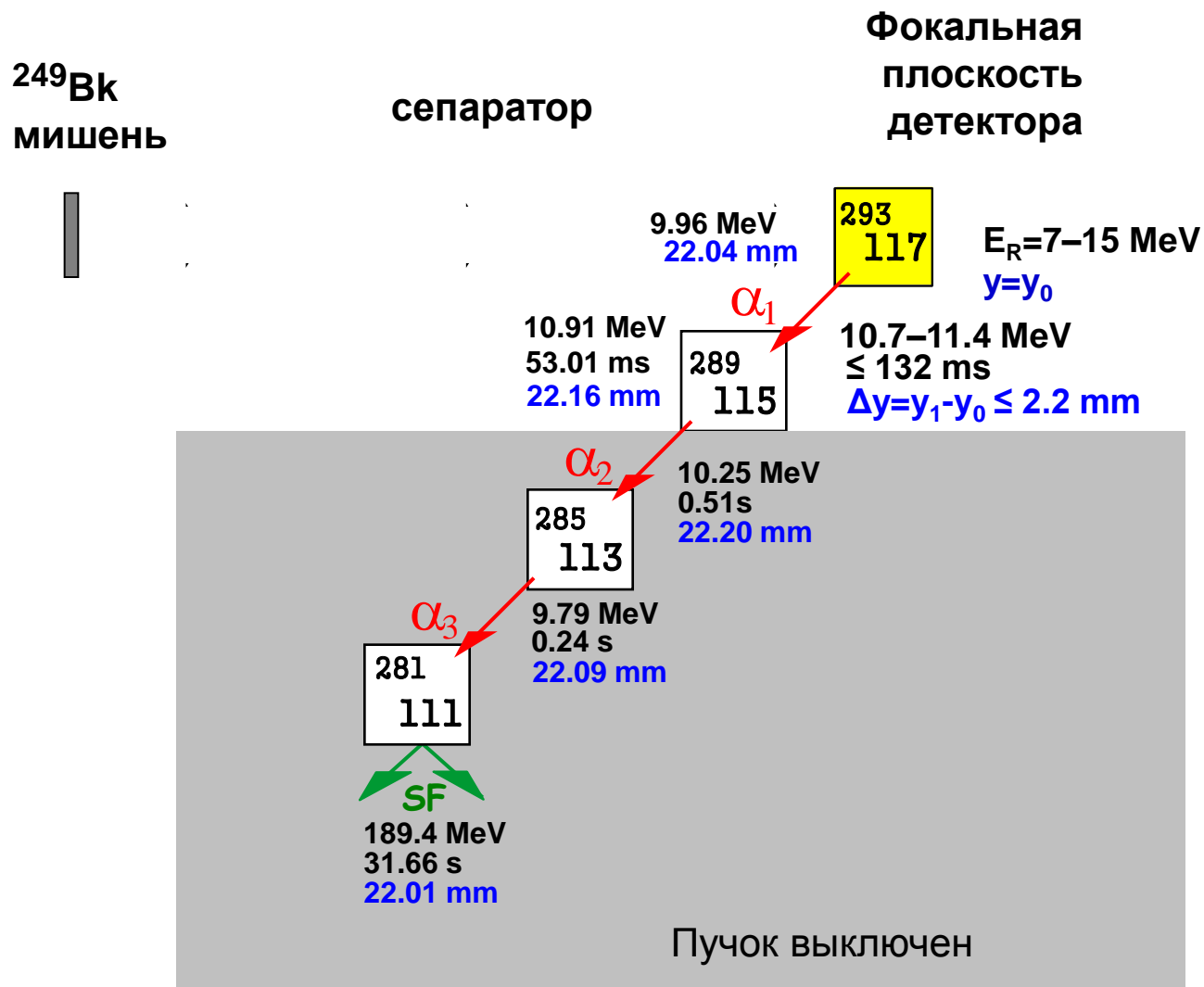
для SF осколков  
один фрагмент 100%  
два фрагмента  $\approx 40\%$

Camerra  
Semiconductors



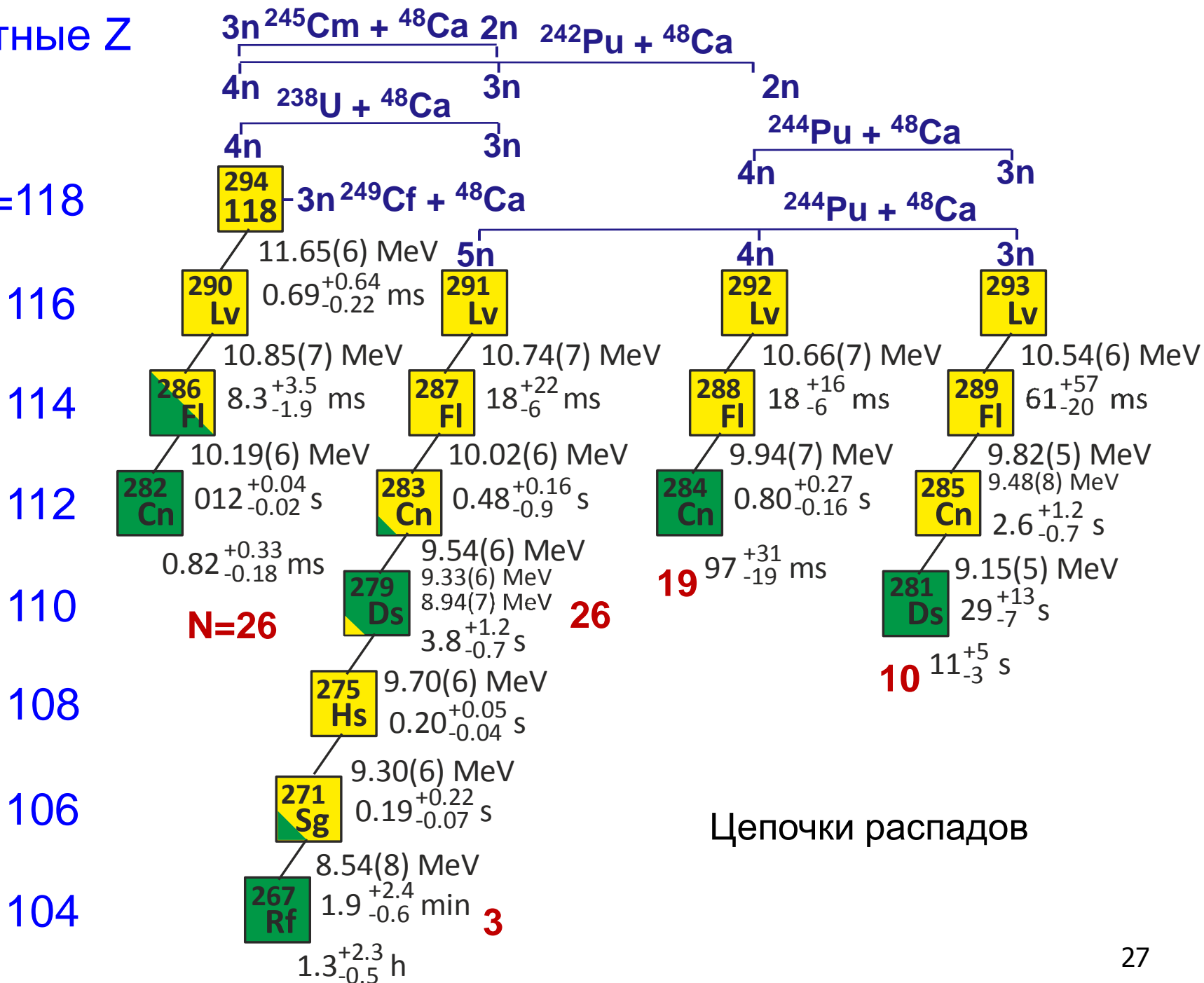
Рождени

# Низкофооновая схема детектирования



# Четные Z

Z=118

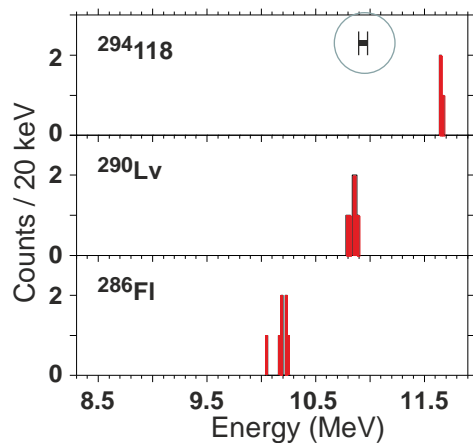


Цепочки распадов

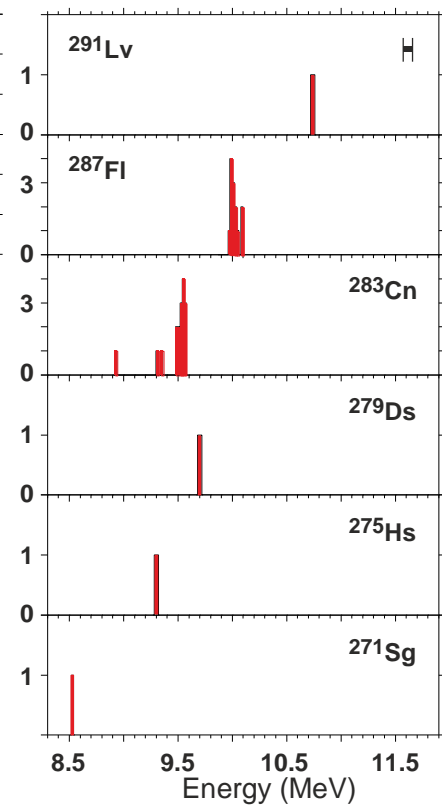
# Четные Z

1999 - 2005

$^{249}\text{Cf} + ^{48}\text{Ca}$

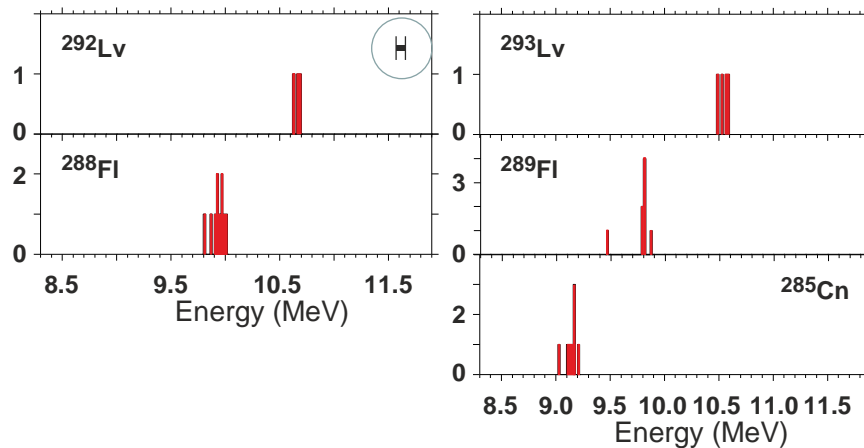


$^{242}\text{Pu} + ^{48}\text{Ca}$

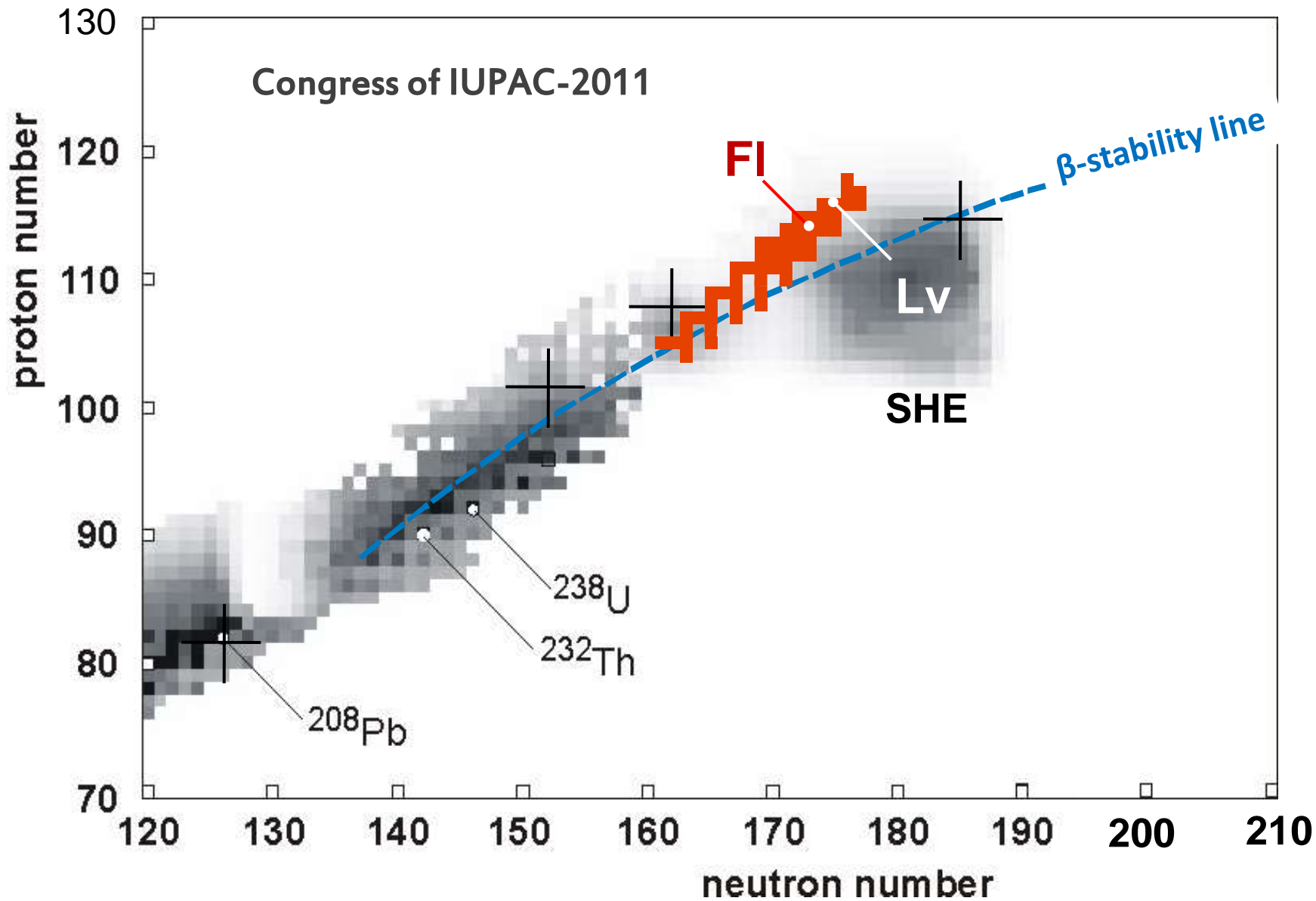


# Спектры альфа-частиц

$^{244}\text{Pu} + ^{48}\text{Ca}$



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







A/Z	Эксп.	Лаборатория	Публикация
<b><math>^{283}_{112}</math></b>	SHIP	GSI Darmstadt	Eur. Phys. J. A32, 251 (2007)
<b><math>^{283}_{112}</math></b>	COLD	PSI-FLNR (JINR)	NATURE 447, 72 (2007)
<b><math>^{286, 287}_{114}</math></b>	BGS	LBNL (Berkeley)	P.R. Lett. 103, 132502 (2009)
<b><math>^{288, 289}_{114}</math></b>	TASCA	GSI – Mainz	P.R. Lett. 104, 252701 (2010)
<b><math>^{292, 293}_{116}</math></b>	SHIP	GSI Darmstadt	Eur. Phys. J. A48, 62 (2012)
<b><math>^{287, 288}_{115}</math></b>	TASCA	GSI – Mainz	P.R. Lett. 111, 112502 (2013)
<b><math>^{293, 294}_{117}</math></b>	TASCA	GSI – Mainz	P.R. Lett. 112, 172501 (2014)
<b><math>^{292, 293}_{116}</math></b>	GARIS	RIKEN Tokyo	Accelerator Progress Rep. (2013)

# Периодическая система элементов Менделеева

ГРУППА

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

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											18	19				
1	2											18	19				
3	4											5	6	7	8	9	10
11	12											13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
55	56		72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
87	88		104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118



\* Lanthenoids

57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu

\*\* Actinoids

89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

# Elements & Country of Discovery

1 H	 UK 23    Sweden 19    Germany 19    U.S.A. 17    France 17    Russia 6    Austria 2						2 He																																						
3 Li	4 Be	 Denmark 2    Spain 2    Swit. 2    Finland 1    Italy 1    Romania 1						5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne																																
11 Na	12 Mg							13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar																																
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr																												
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe																												
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn																												
87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo																												
<table border="1"> <tr> <td>58 Ce</td><td>59 Pr</td><td>60 Nd</td><td>61 Pm</td><td>62 Sm</td><td>63 Eu</td><td>64 Gd</td><td>65 Tb</td><td>66 Dy</td><td>67 Ho</td><td>68 Er</td><td>69 Tm</td><td>70 Yb</td><td>71 Lu</td> </tr> <tr> <td>90 Th</td><td>91 Pa</td><td>92 U</td><td>93 Np</td><td>94 Pu</td><td>95 Am</td><td>96 Cm</td><td>97 Bk</td><td>98 Cf</td><td>99 Es</td><td>100 Fm</td><td>101 Md</td><td>102 No</td><td>103 Lr</td> </tr> </table>																		58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr
58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu																																
90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr																																

Credit given to both where joint or independently discovered. IUPAC recognised only. Collated by Jamie Gallagher, @jamiembgall

Где заканчиваются ядра?



Чем отличаются SHE от более легких?

... и какова форма плотности ядер на границе?

Образуются ли SHE во взрывах сверхновых?

# SHE-Factory

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

**Повышение в  
10 раз**

Новый ускоритель

Высоко

интенсивные  
пучки: Ca-48

**Фактор 10-20**

Ti-50

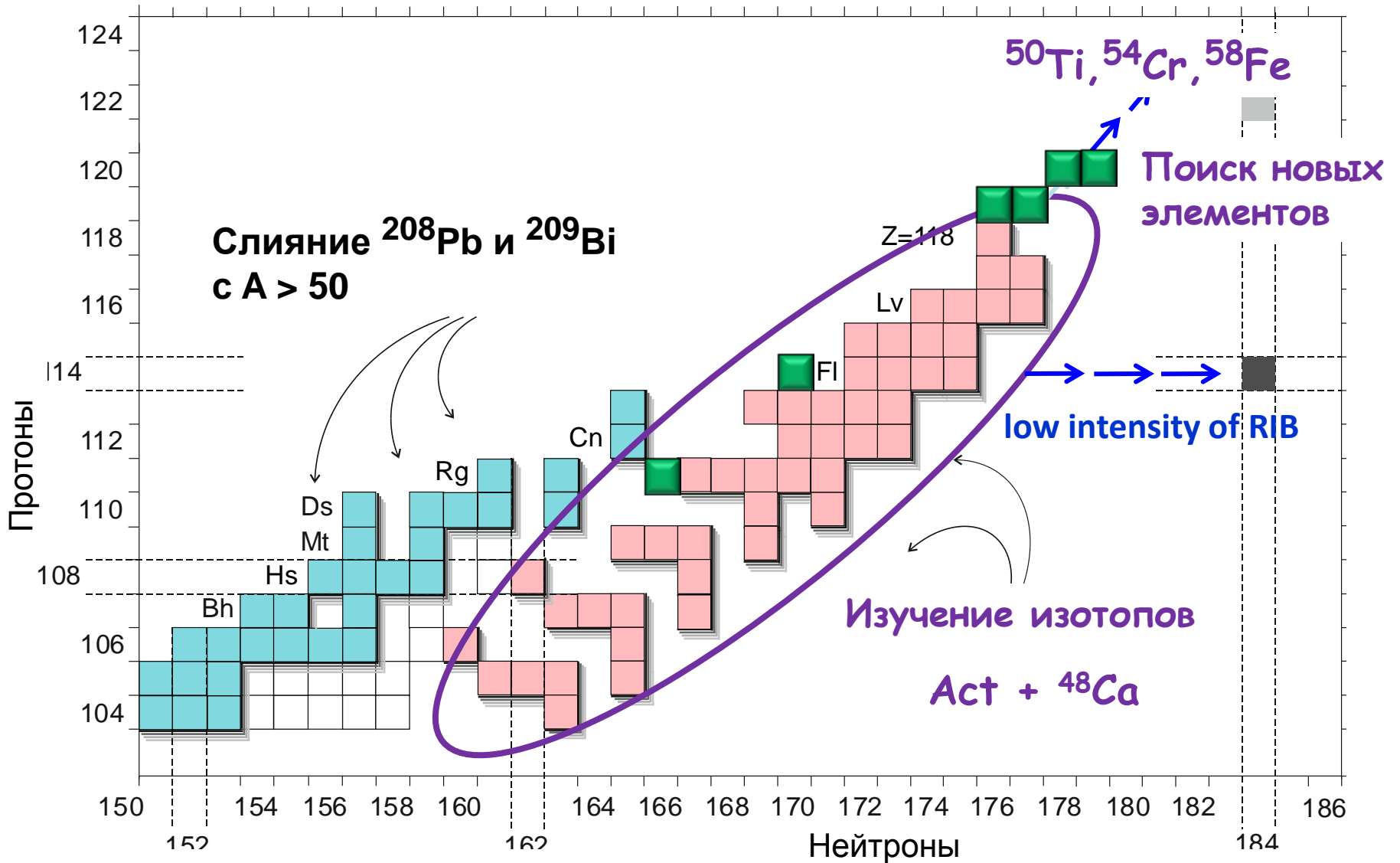
Ni-64

**Зависит  
от прочности  
мишени**

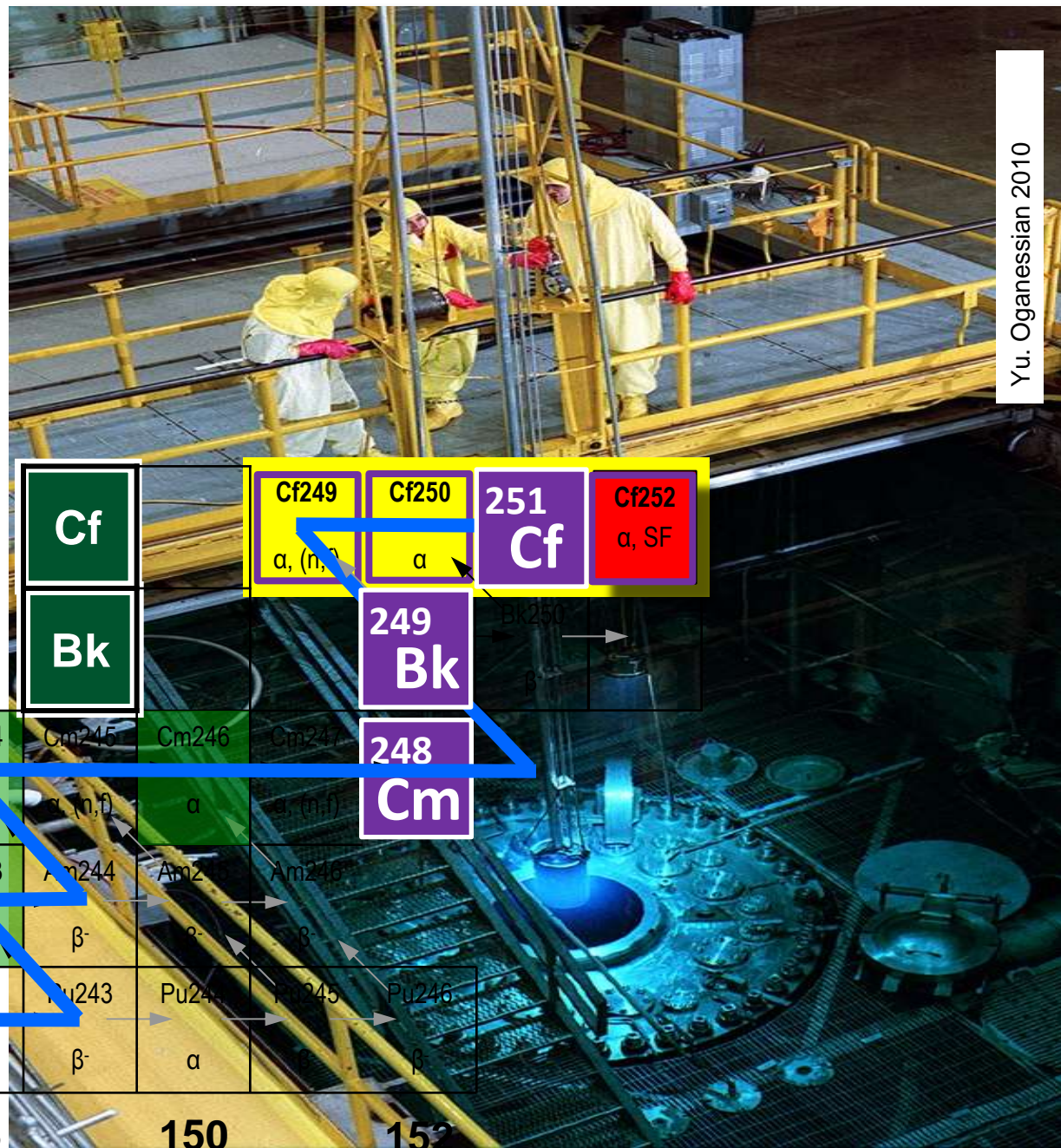
SC- сепаратор  
& позиционные  
детекторы

**Фактор 3-5  
Зависит  
от интеллекта**

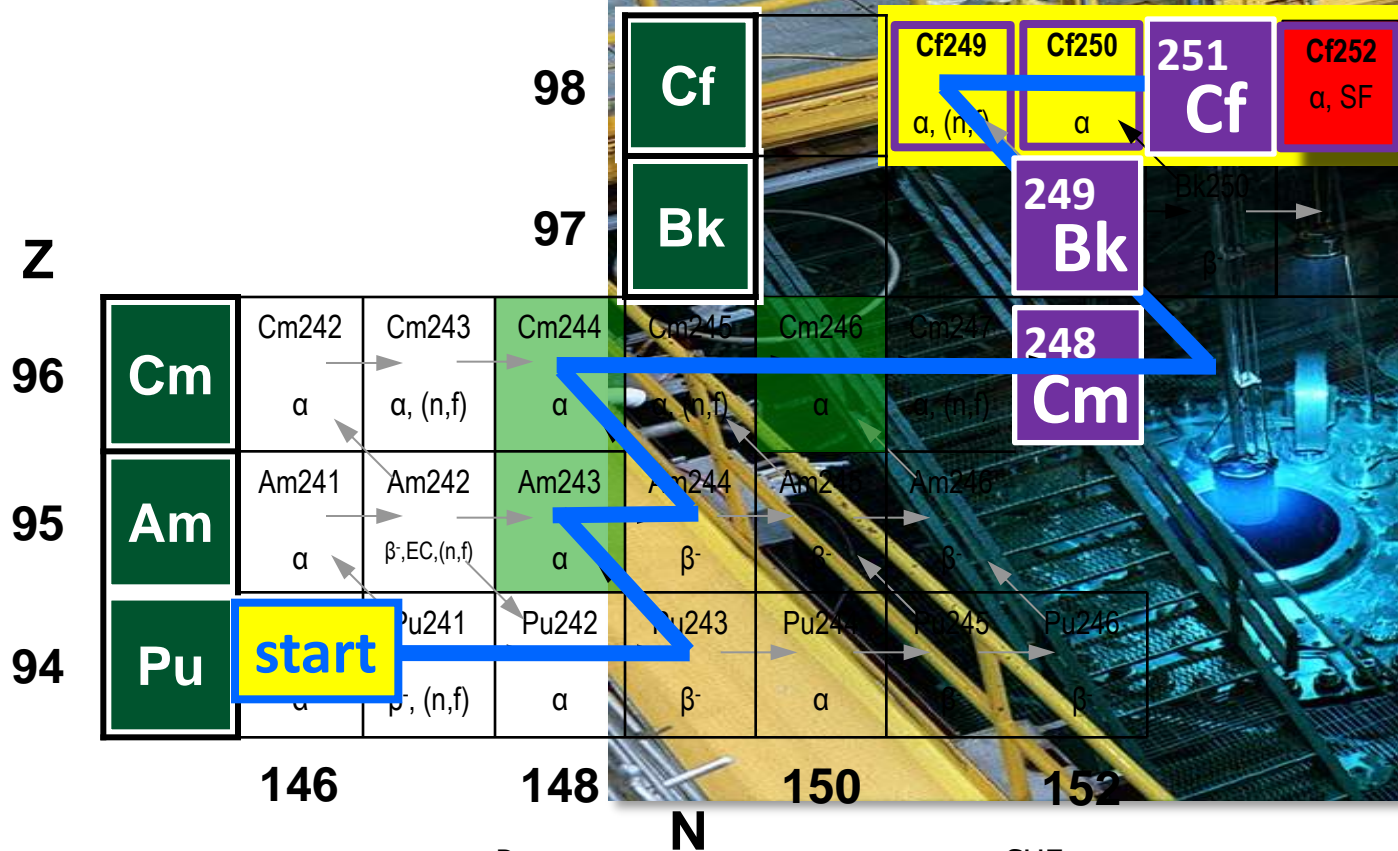
From Yuri Oganessian. ARIS 2014, June 5, 2014 in Tokyo, Japan



# High Flux Isotope Reactor at Oak- Ridge



Yu. Oganessian 2010





Dubna, May 22, 2014





Объединенный институт  
ядерных исследований,  
Дубна, СССР

## Лаборатория ядерных реакций





## 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	



### ДИПЛОМ

#### НА ОТКРЫТИЕ

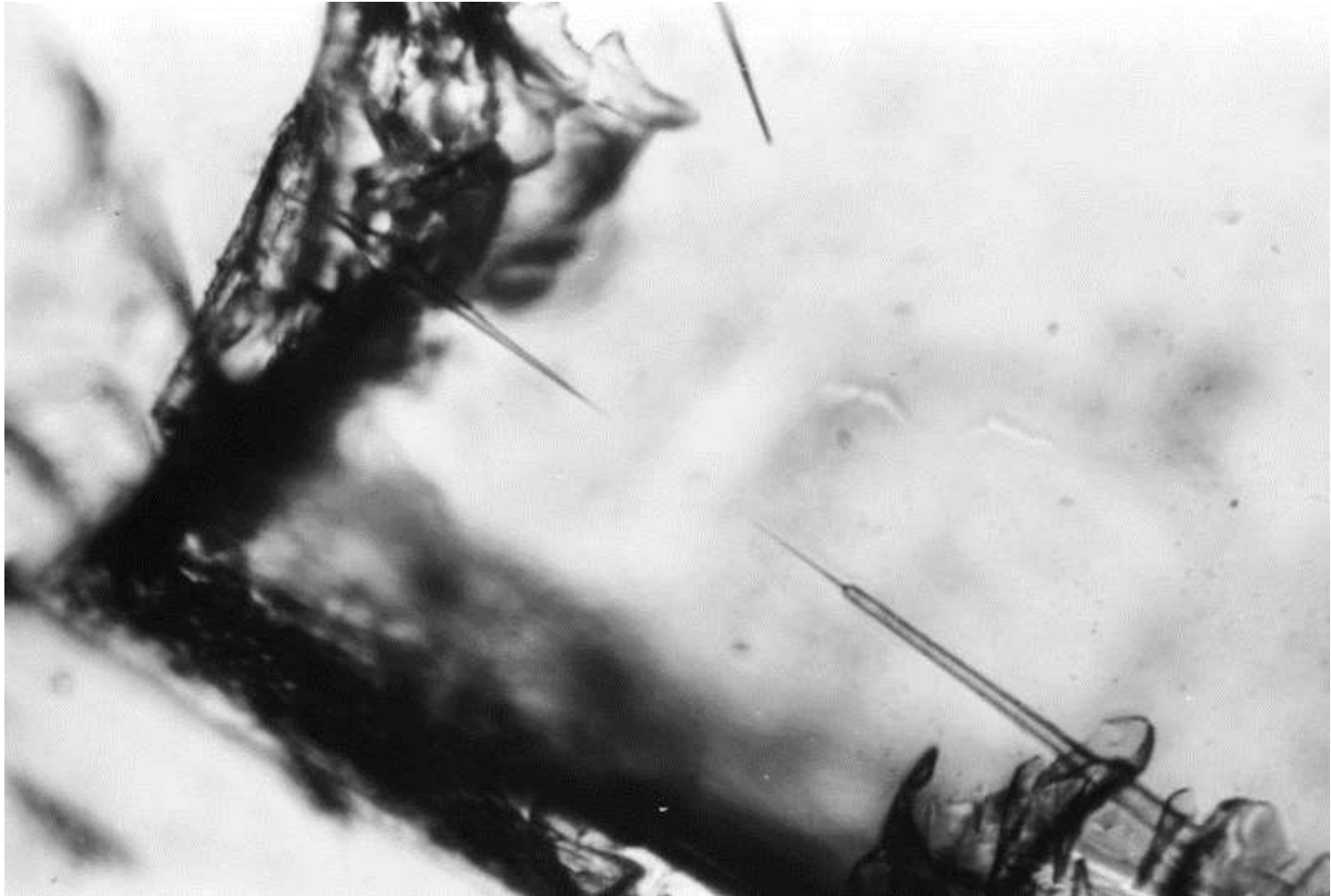
Явления образования радиоактивного изотопа элемента с атомным номером 106

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 АЛЕСЕЕВИЧ  
ТРЕТЬЯКОВА СВЕТЛАНА ПАВЛОВНА  
ПЕНЧОНКОВИЧ ЮРИЙ ЭРАСТОВИЧ  
ПЛОТКО ВАСИЛИЙ МАКСИМОВИЧ  
ИВАНОВ МИХАИЛ ПЕТРОВИЧ  
ДАНИЛОВ НИКОЛАЙ АНДРЕЕВИЧ  
КОРОТКИН ЮРИЙ СЕМЕНОВИЧ  
ФЛЕРОВ ГЕОРГИЙ НИКОЛАЕВИЧ  
ОГАНЕСЯН ЮРИЙ ЦОЛАНОВИЧ

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.





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



# Циклотрон



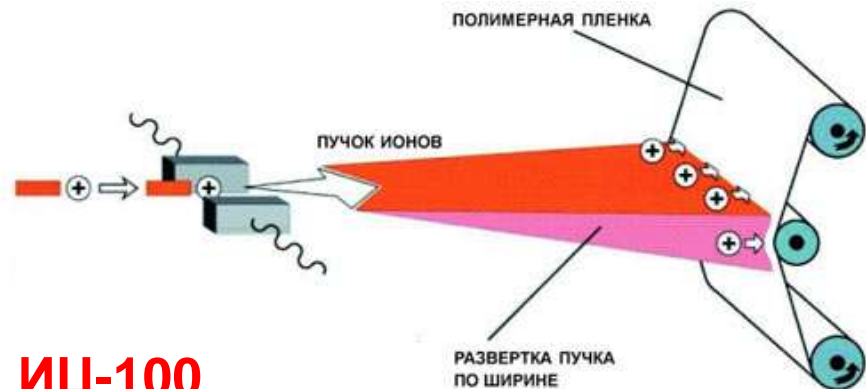
## Ускорительный комплекс У400

Запущен в 1979 году

Пучки ускоренных ионов  $A = 4 - 209$   
с энергией  $3 - 29$  МэВ/нуклон

Магнит 2100 тонн, диаметр 4 м

Потребление энергии 1,5 МВт



## ИЦ-100

диаметр полюсов

1 метр

Потребление энергии 150 кВт.

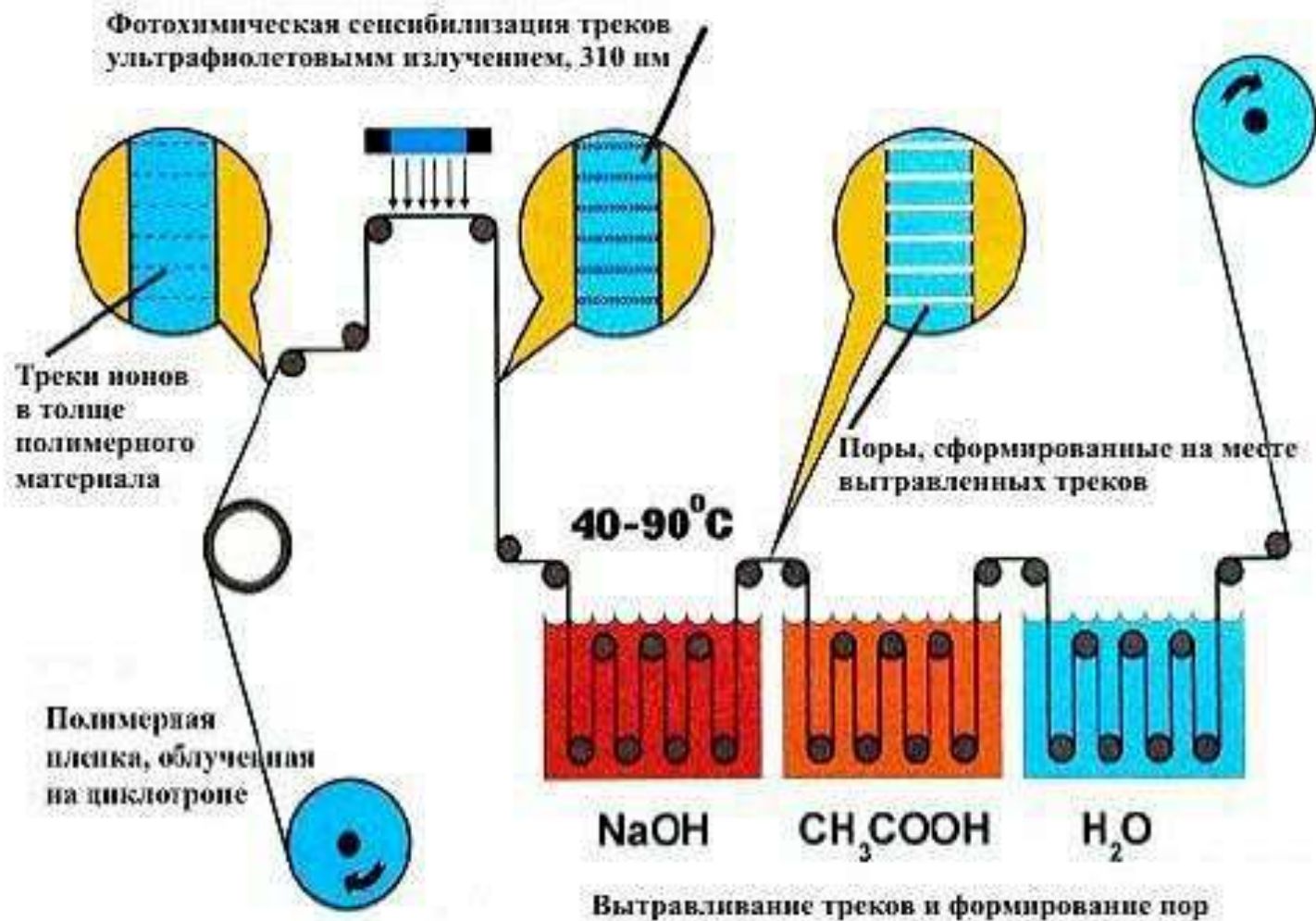
Энергия ионов (Xe, Kr)

1,2 МэВ/ну

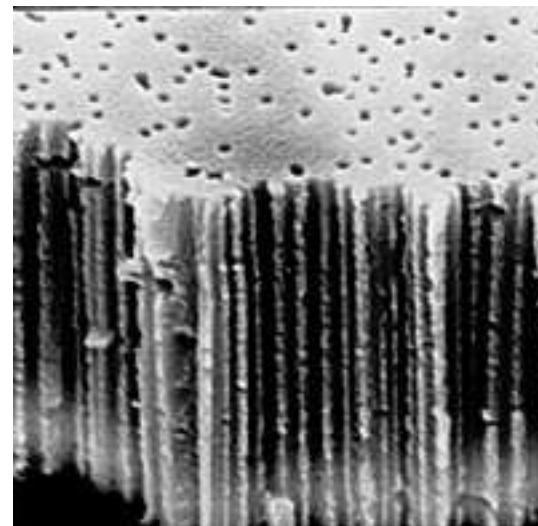
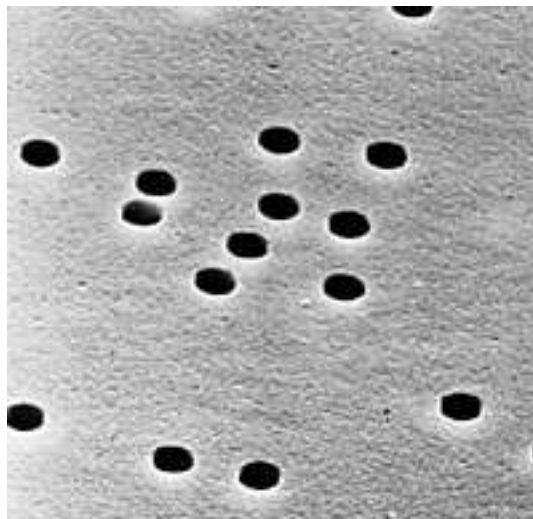
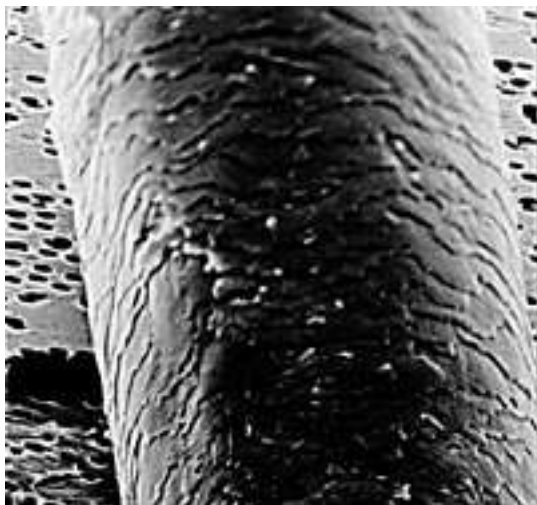
Толщина пленки

20 мкм

# Трековые мембраны



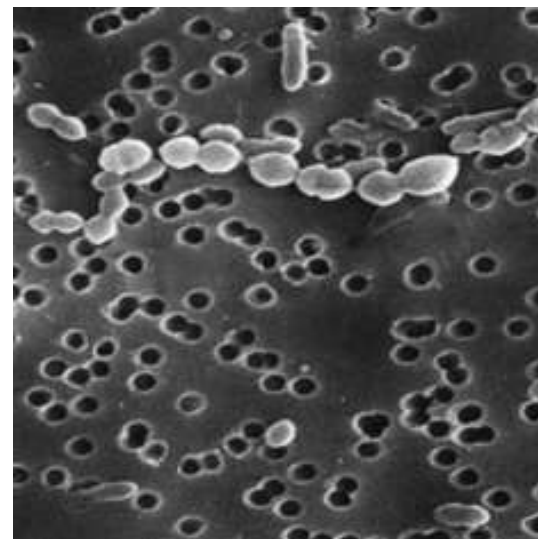
# Трековые мембраны



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>

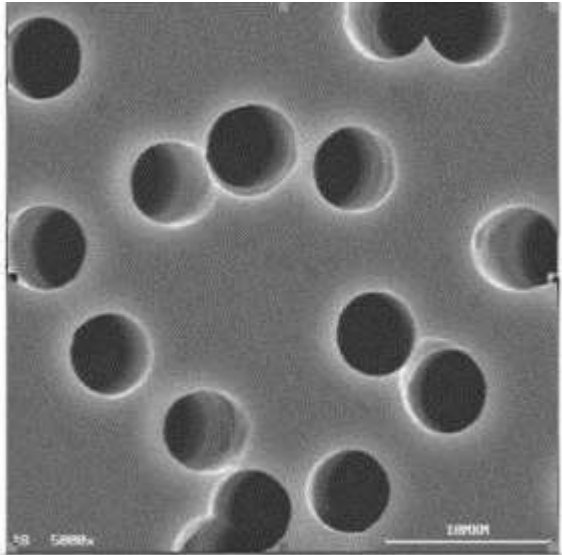


Загрязнение на поверхности мембраны в результате очистки водопроводной воды

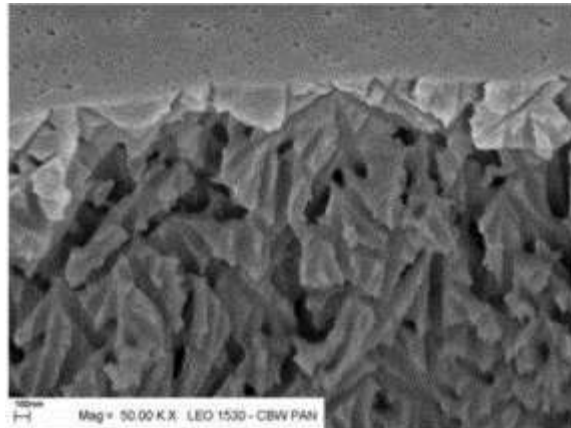




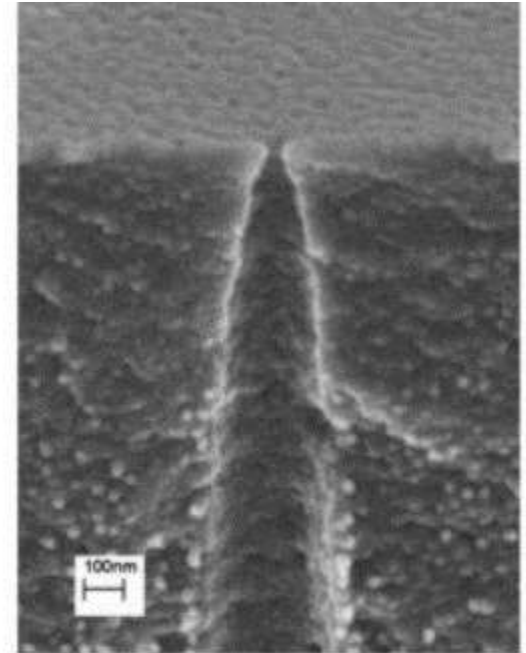
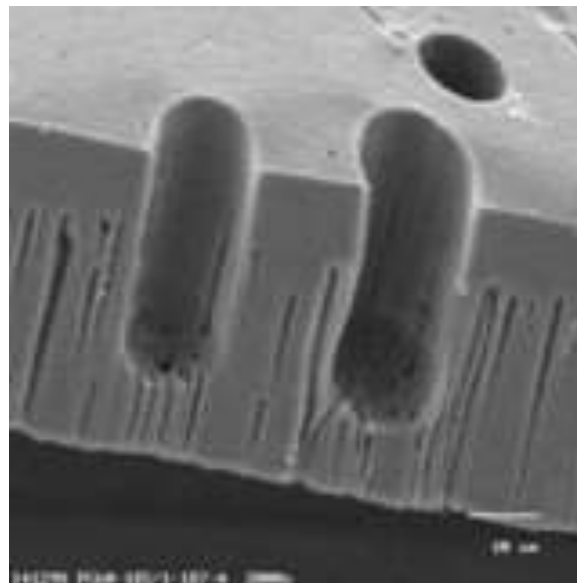
# Трековые мембраны



Мембрана с плоской поверхностью для сбора и анализа клеток



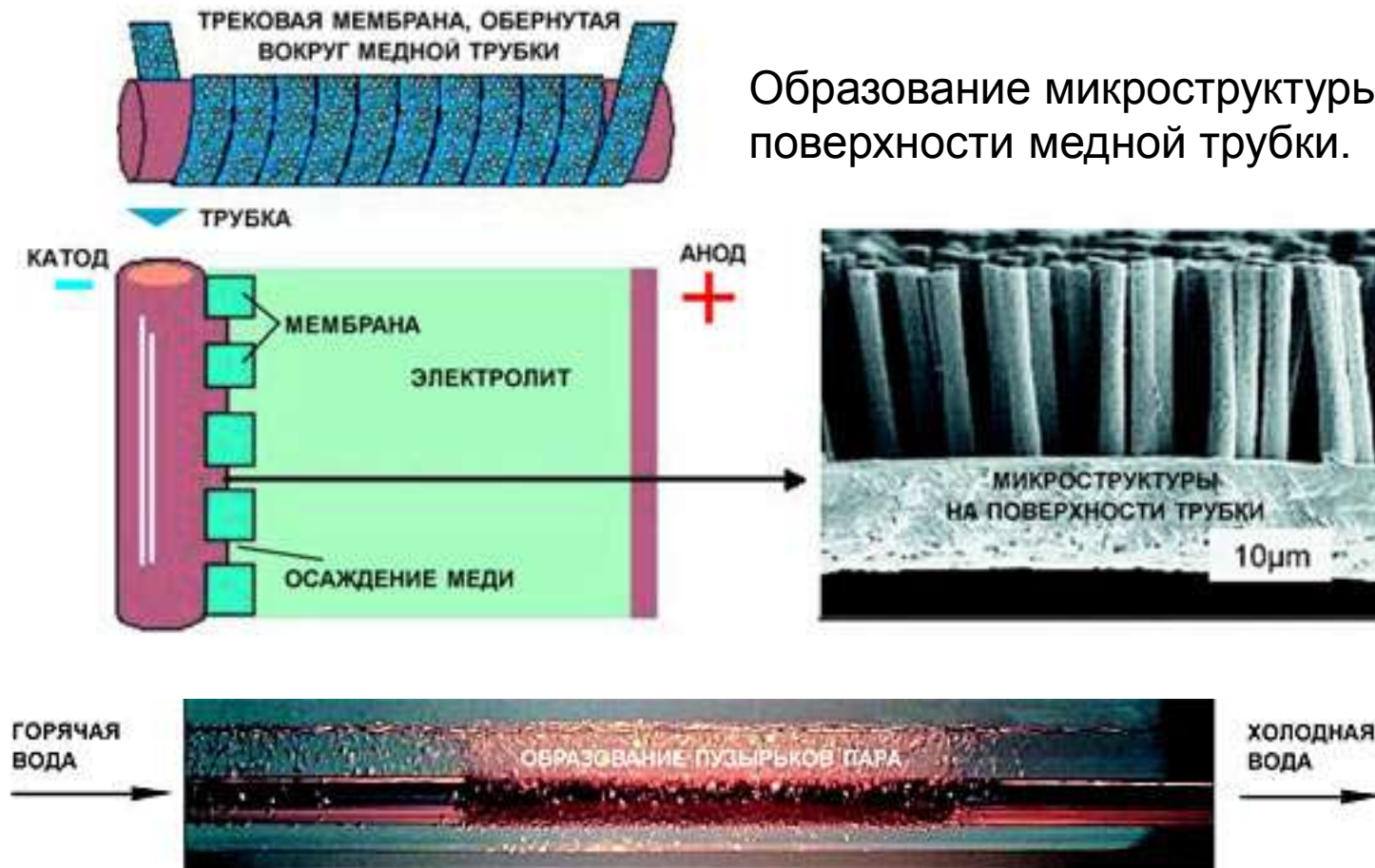
Вертикальный срез трековой мембраны для ультрафильтрации с поверхностным слоем. Диаметр пор на поверхностном слое равен 20 нм.



Асимметричная нано-пора пулеобразной формы

микроколодцы

# 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



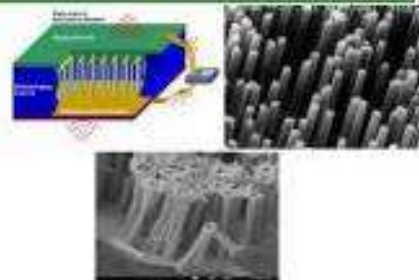
### Сенсоры



### Культивирование клеток



### Нанотехнологии



### Мембранный катализ



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

# 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  $5 \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$

