

Сверхтяжелые элементы  
в Периодической таблице Д. И. Менделеева.

Ю. Ц. Оганесян, Г. М. Тер-Акопьян  
*Лаборатория ядерных реакций имени Г. Н.  
Флерова*

*Объединенный институт ядерных исследований  
Дубна, РФ*

# от сотрудничающих групп

(Dubna)

FLNR, JINR

USA)

ORNL (Oak-Ridge,

LLNL (Livermore, USA)

ANL (Argonne, USA)

GSI (Darmstadt, Germany)

USA)

TAMU Cyclotron Institute (Texas,

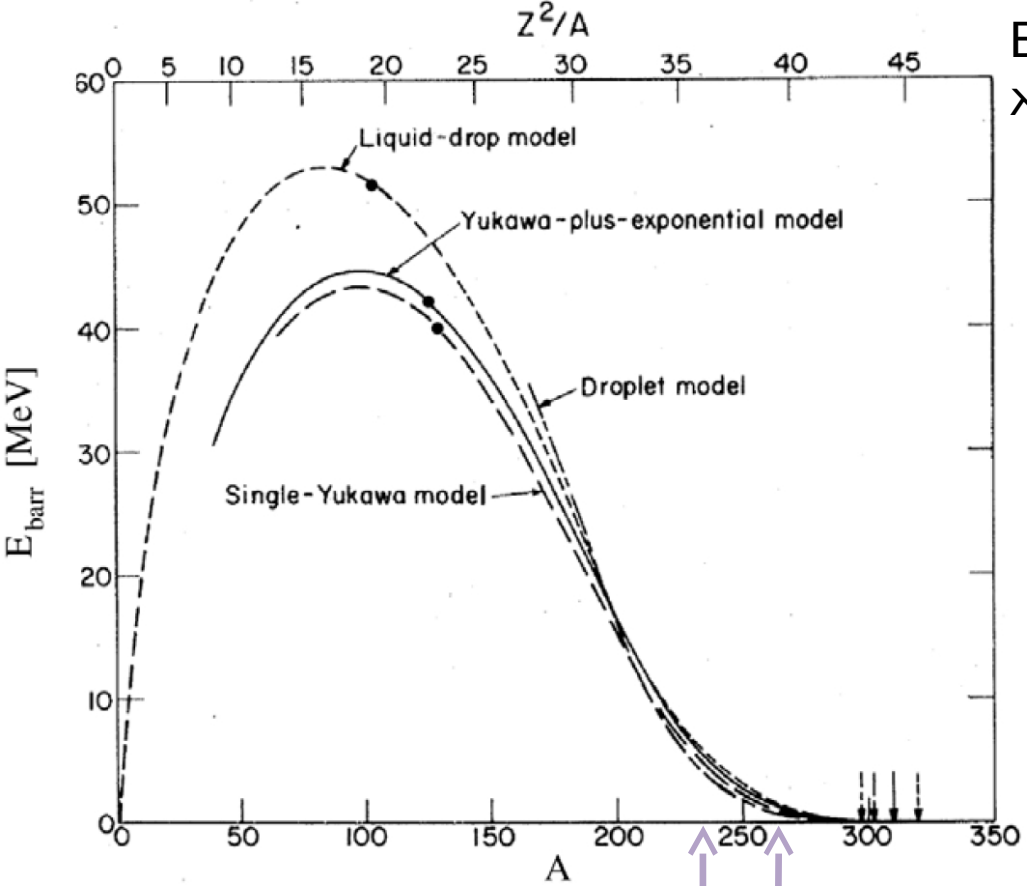
GANIL (Caen, France)

RIAR (Dimitrovgrad, Russia)

Vanderbilt University (Nashville, USA)

**PSI (Villigen, Switzerland)**

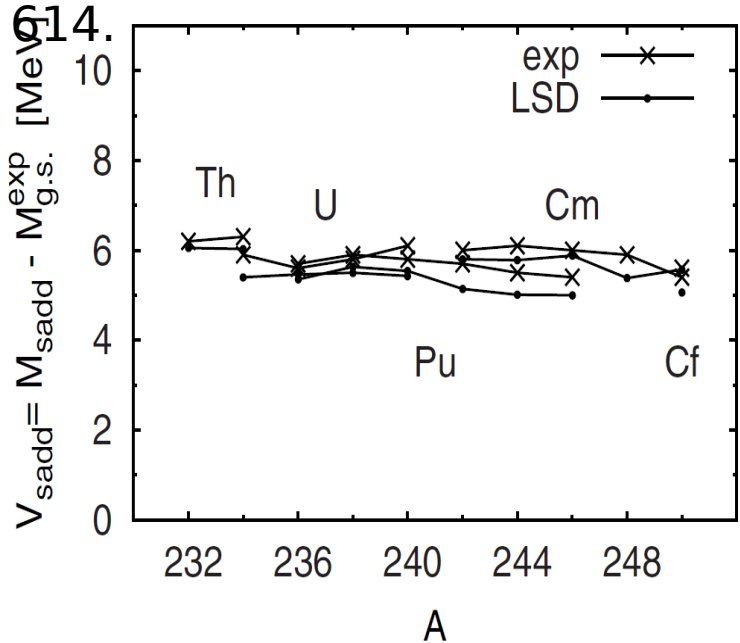
# Барьеры деления ядер в модели жидкой капли



$238\text{U}$        $260\text{Rf}$   
 $\text{TSF} \approx 1024 \text{ c}$        $\text{TSF} \approx 0,1 \text{ c}$

Барьеры деления  
 (эксперимент). Также  
 показаны результаты  
 расчетов с учетом эффекта  
 оболочек по методу В.М.

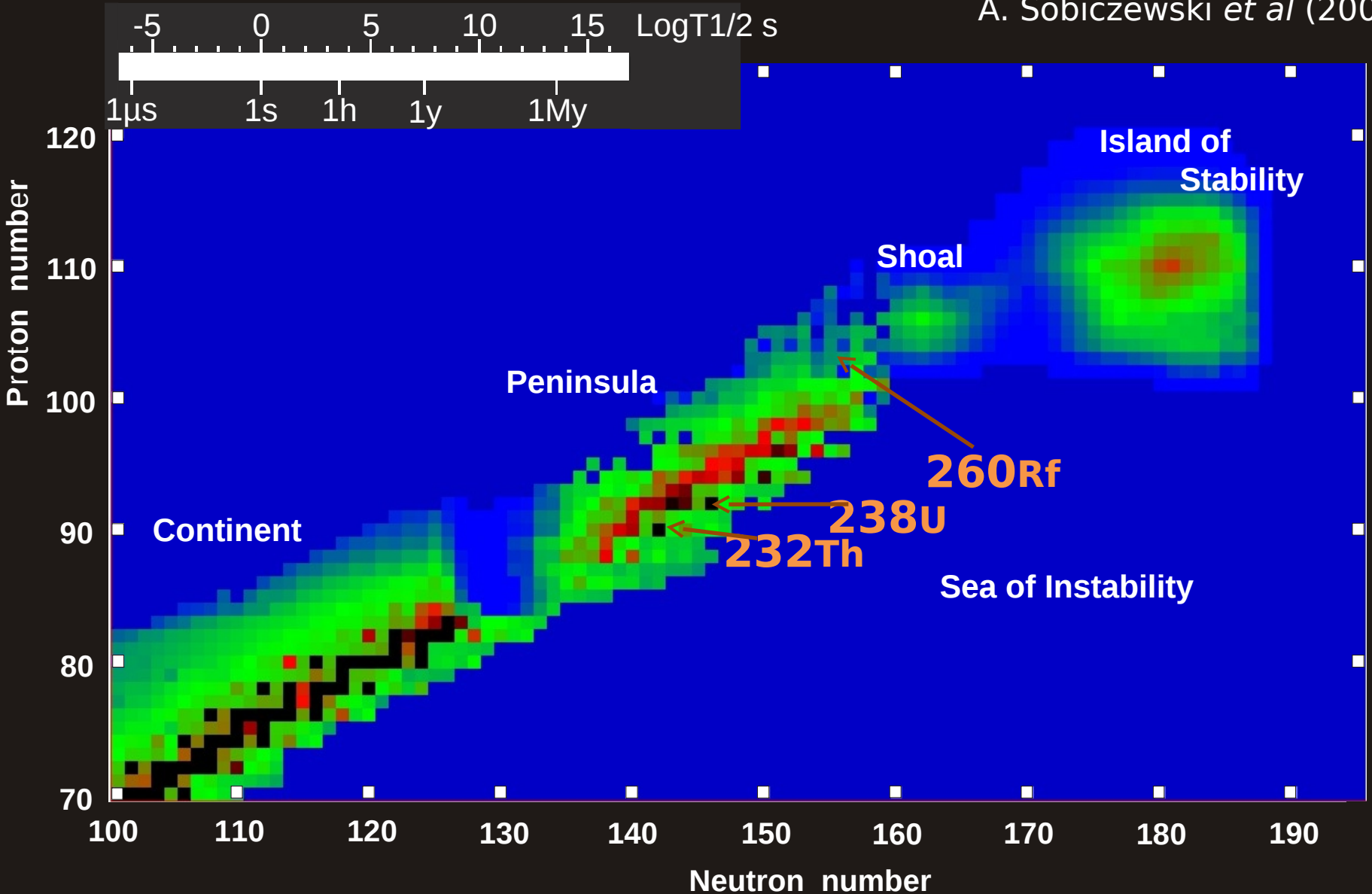
W. D. Myers and W. J.  
 Swiatecki, Nucl. Phys. **81**  
 (1966) 1  
 V. M. Strutinski, Yad.Fiz. **3** (1966) 6



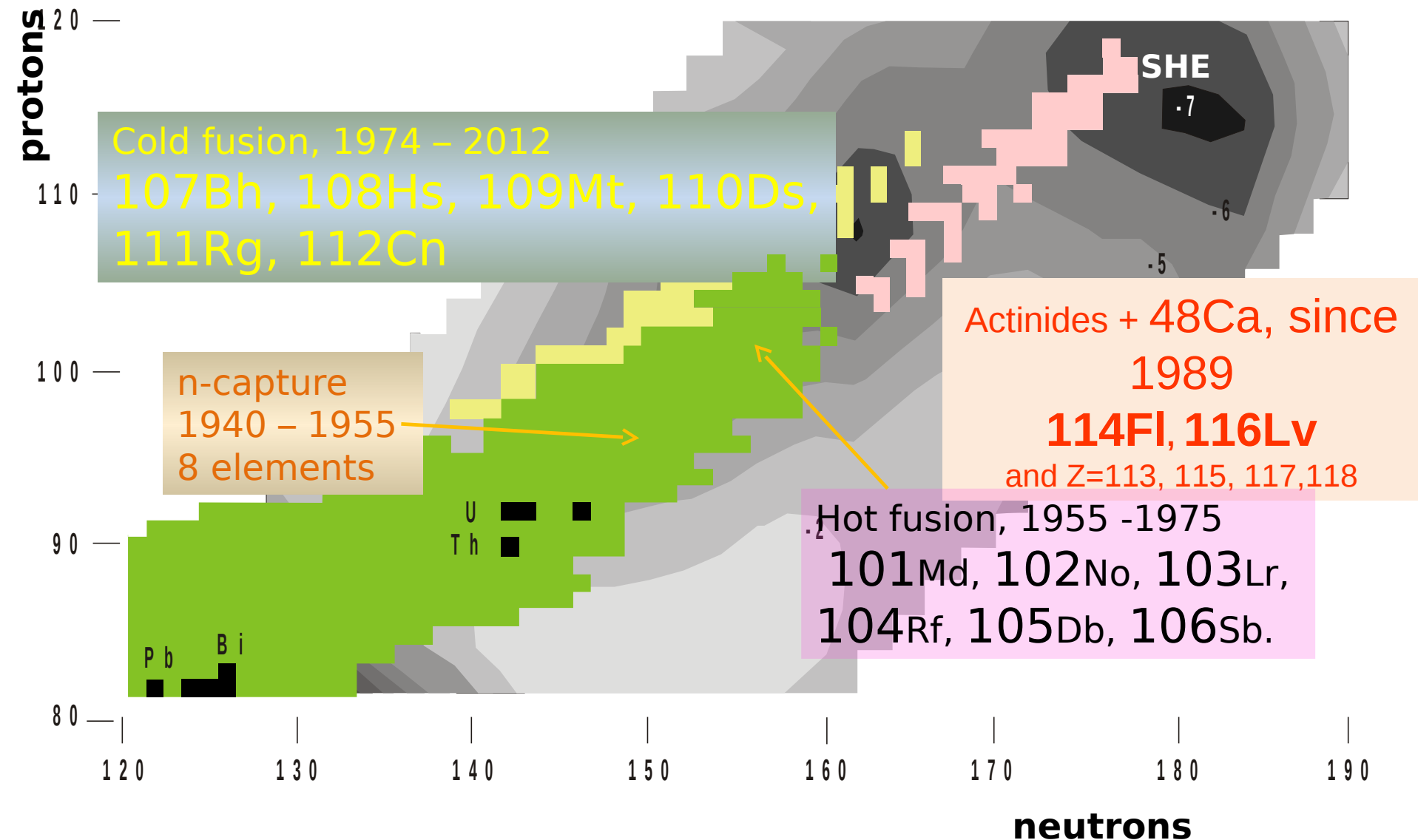
New lands

Macro-microscopic theory

A. Sobiczewski *et al* (2003)



# Reactions of Synthesis



1998 - 2007

# Experimental technique

## Dubna Gas-Filled Recoil Separator

Transmission for:

EVR 35-40%

target-like  $10^{-4}$ - $10^{-7}$

projectile-like  $10^{-15}$ - $10^{-17}$

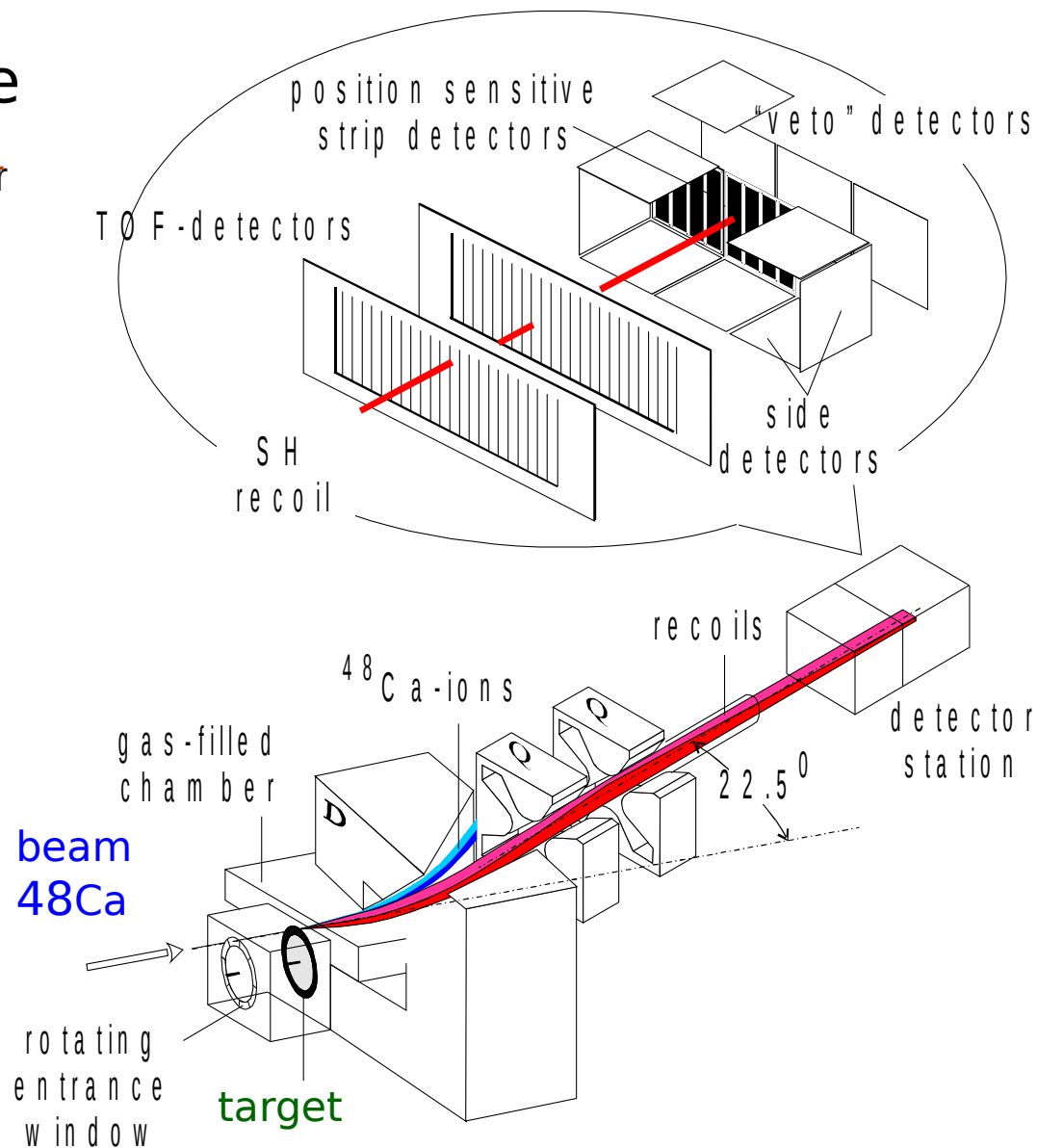
Registration efficiency:

for  $\alpha$ -particles 87%

for SF

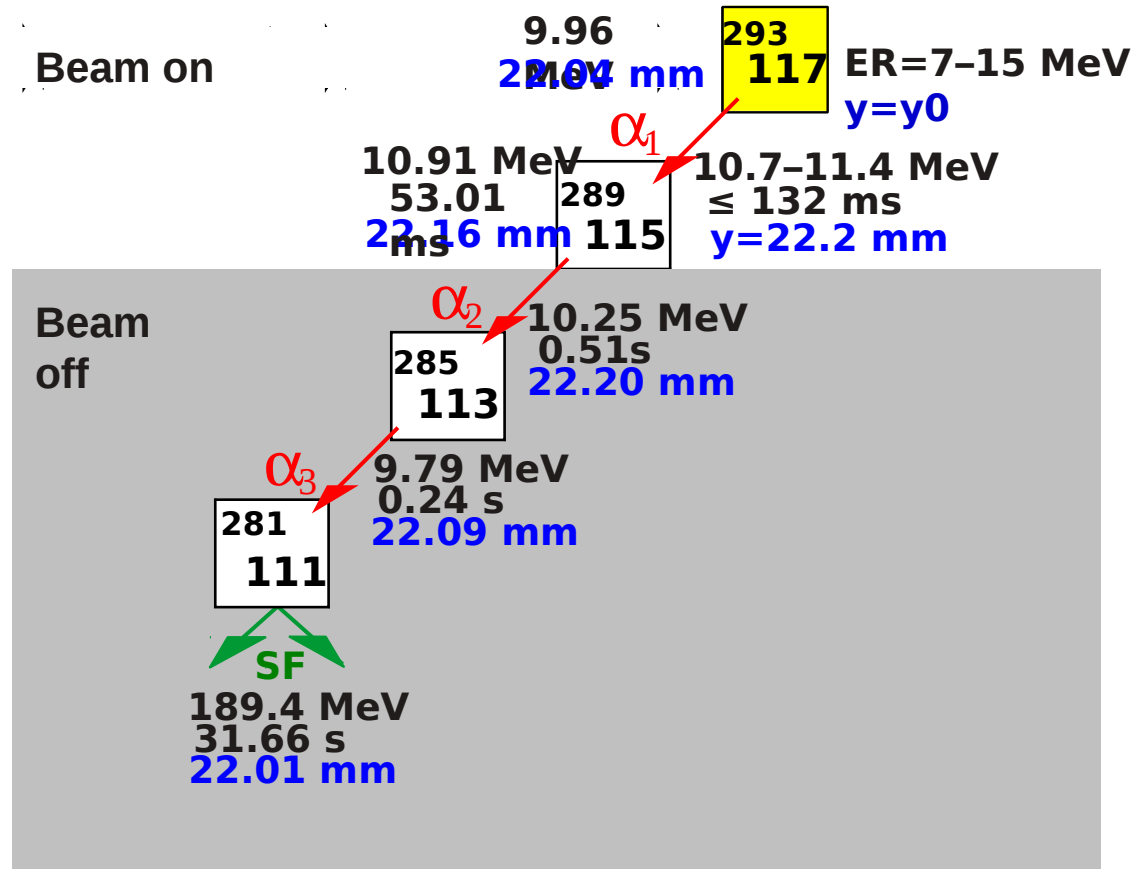
single fragment 100%

two fragments  $\approx 40\%$



low-background detection scheme  **$^{249}\text{Bk}$**   
**target**

Fusion – evaporation reaction

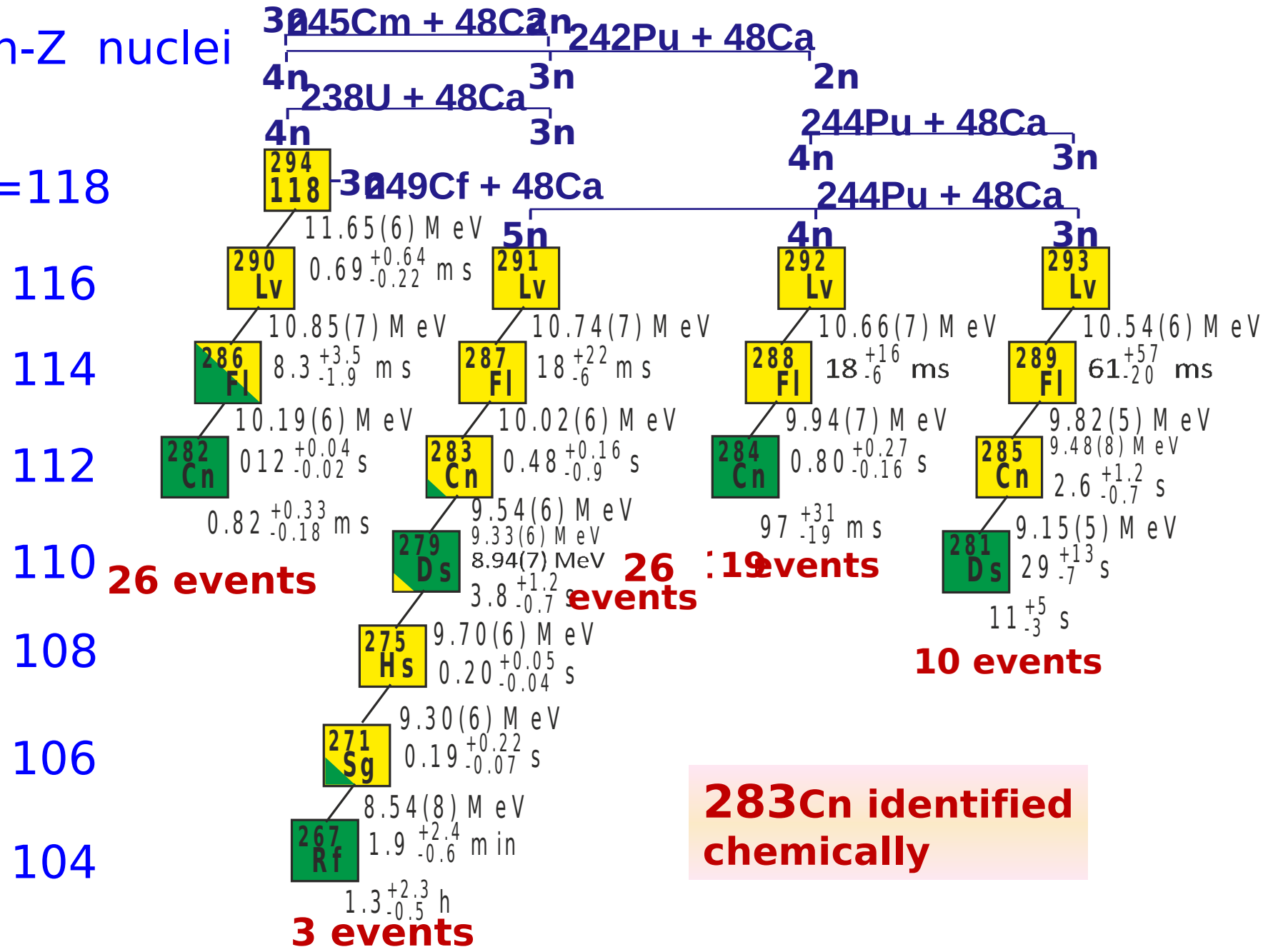


# Радиоактивный распад сверхтяжелых ядер



Even-Z nuclei

Z=118



# Odd-Z nuclei

Z = 117

115

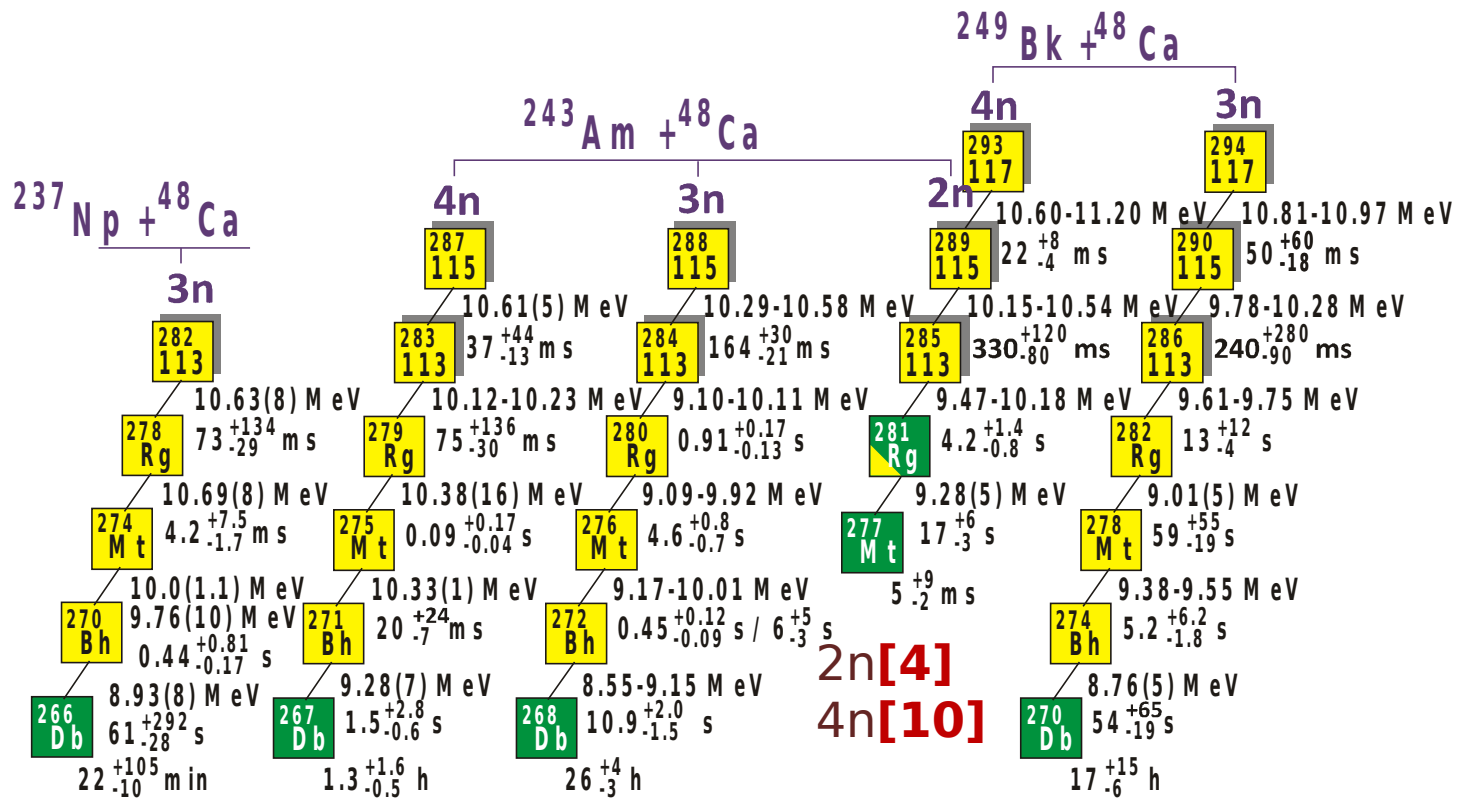
113

111

109

107

105



Observed

event numbers [4]

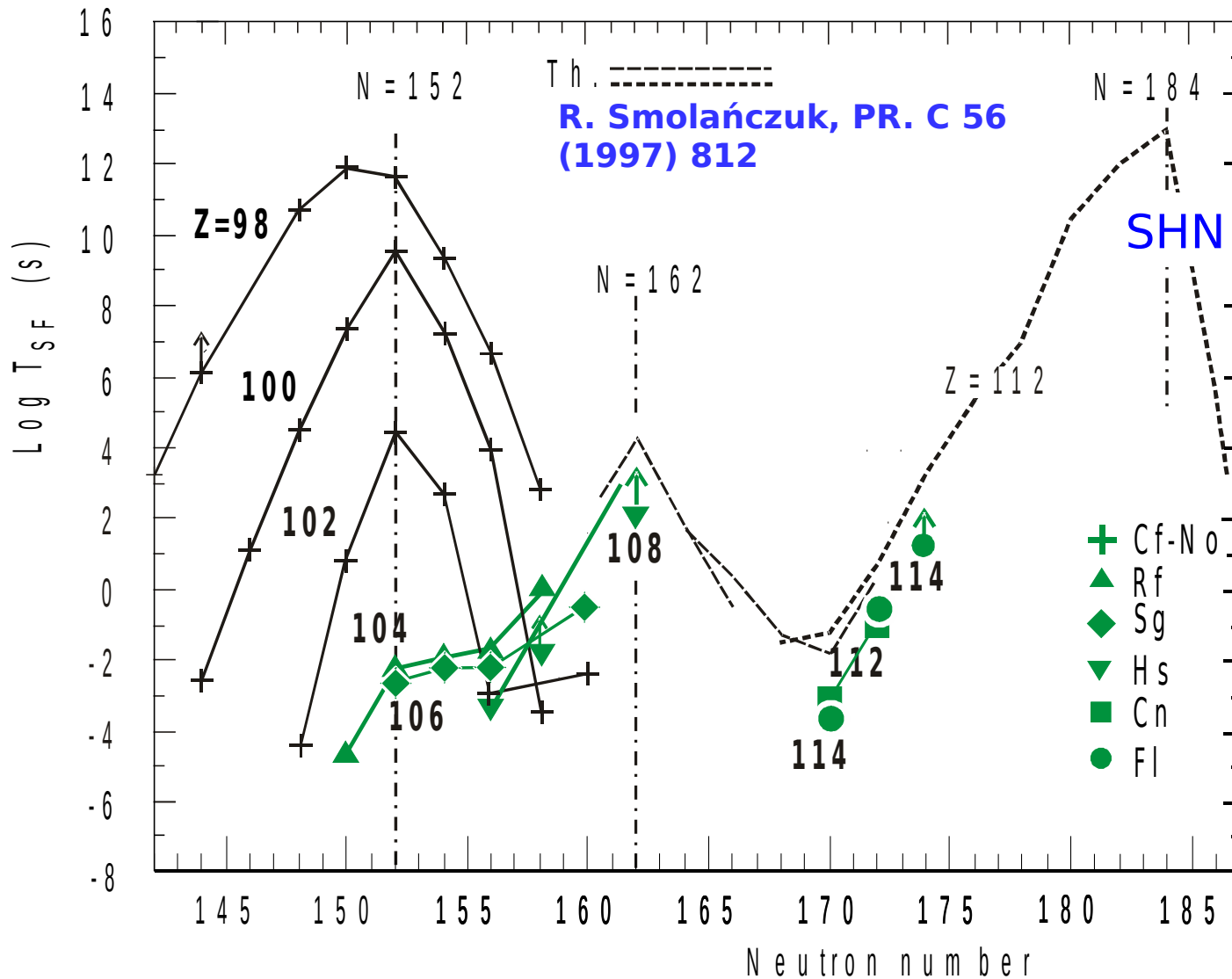
[4]

[104]

[9]

**268Db identified chemically**

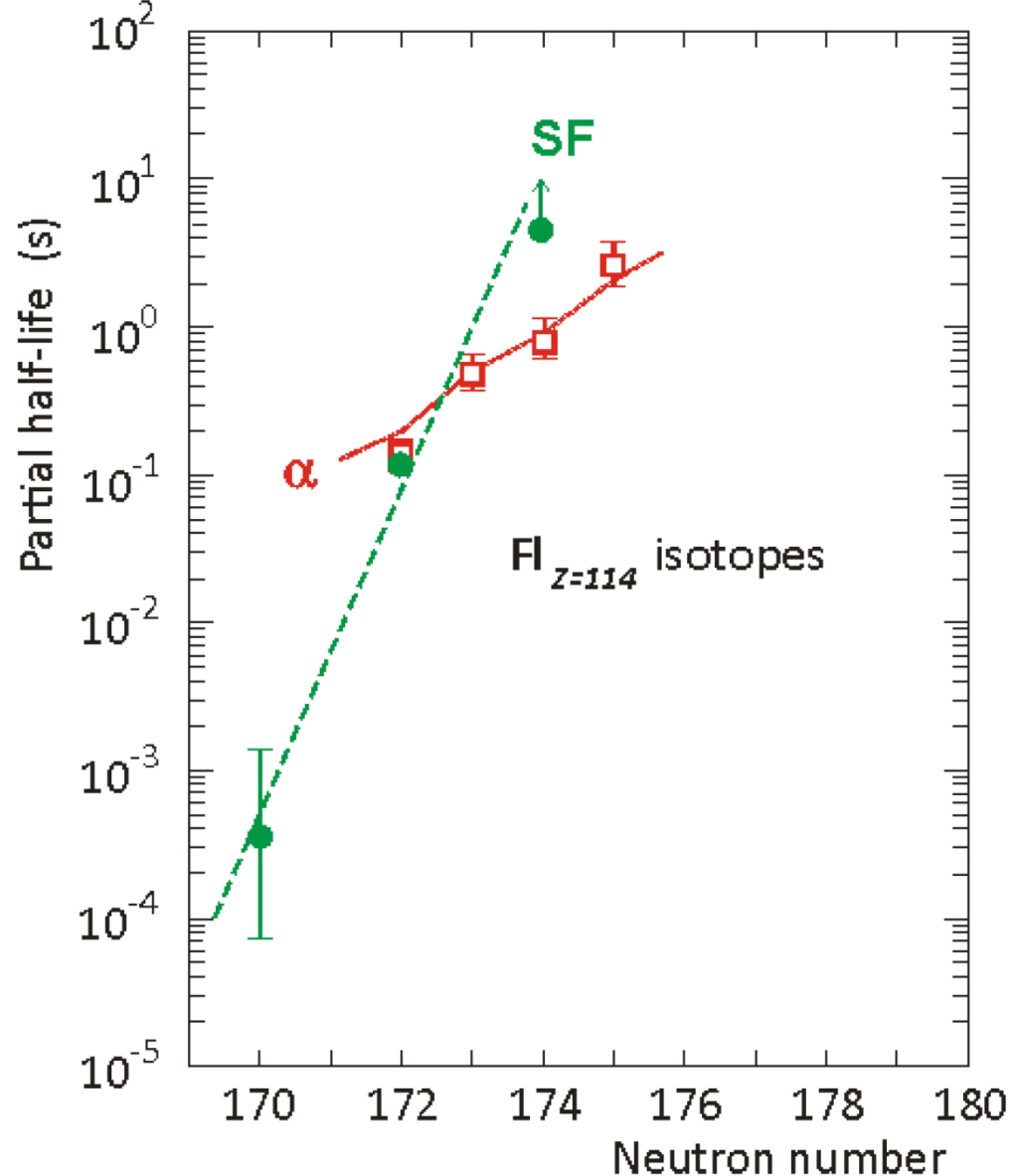
# Spontaneous fission even-even isotopes



Остров стабильности – эксперимент

Спонтанное деление:  
Рост периода полураспада в  $10^4$  –  $10^5$  раз при переходе от  $N = 170$  к  $N = 174$ .

Для ядер с  $Z > 110$ ,  $N > 170$  основным видом распада является  $\alpha$  распад.



# Confirmations of DGFRS data **2007 - 2014**

<b>A/Z</b>	<b>Setup</b>	<b>Laboratory</b>	<b>Publications</b>
<b>283112</b>	<b>SHIP</b>	<b>GSI Darmstadt</b>	<b>Eur. Phys. J. A32, 251 (2007)</b>
<b>283112</b>	<b>COLD</b>	<b>PSI-FLNR (JINR)</b>	<b>NATURE 447, 72 (2007)</b>
<b>286, 287114</b>	<b>BGS</b>	<b>LBNL (Berkeley)</b>	<b>P.R. Lett. 103, 132502 (2009)</b>
<b>288, 289114</b>	<b>TASCA</b>	<b>GSI – Mainz</b>	<b>P.R. Lett. 104, 252701 (2010)</b>
<b>292, 293116</b>	<b>SHIP</b>	<b>GSI Darmstadt</b>	<b>Eur. Phys. J. A48, 62 (2012)</b>
<b>287, 288115</b>	<b>TASCA</b>	<b>GSI – Mainz</b>	<b>P.R. Lett. 111, 112502 (2013)</b>
<b>293,</b>	<b>TASCA</b>	<b>GSI – Mainz</b>	<b>P.R. Lett. 112, 172501 (2014)</b>



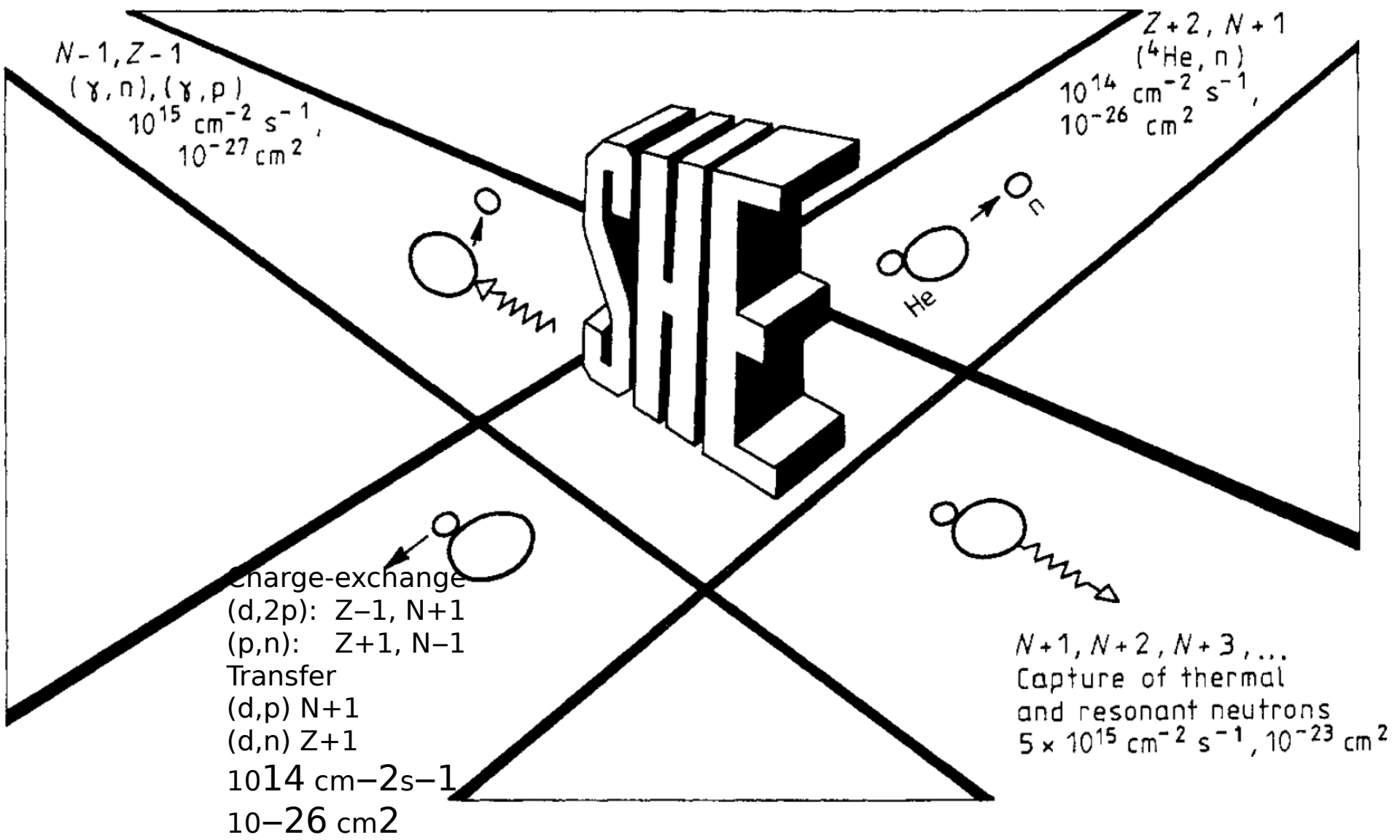
# Открытие сверхтяжелых элементов ставит вопросы

# Поиск СТЭ в природе – актуальная задача

1. Это единственный подход, в котором не исключено получение и исследование ядер, находящихся на вершине острова стабильности.
3. Обнаружение СТЭ в природе имело бы огромное значение для получения уникальных сведений о вероятных объектах Галактики, где идет синтез тяжелых элементов.



мишенью в  $10^{12}$  атомов СТЭ, можно исследовать свойства соседних ядер  
 а острове стабильности.



Возможность обнаружения СТЭ в природе зависит от счастливого совпадения нескольких условий:

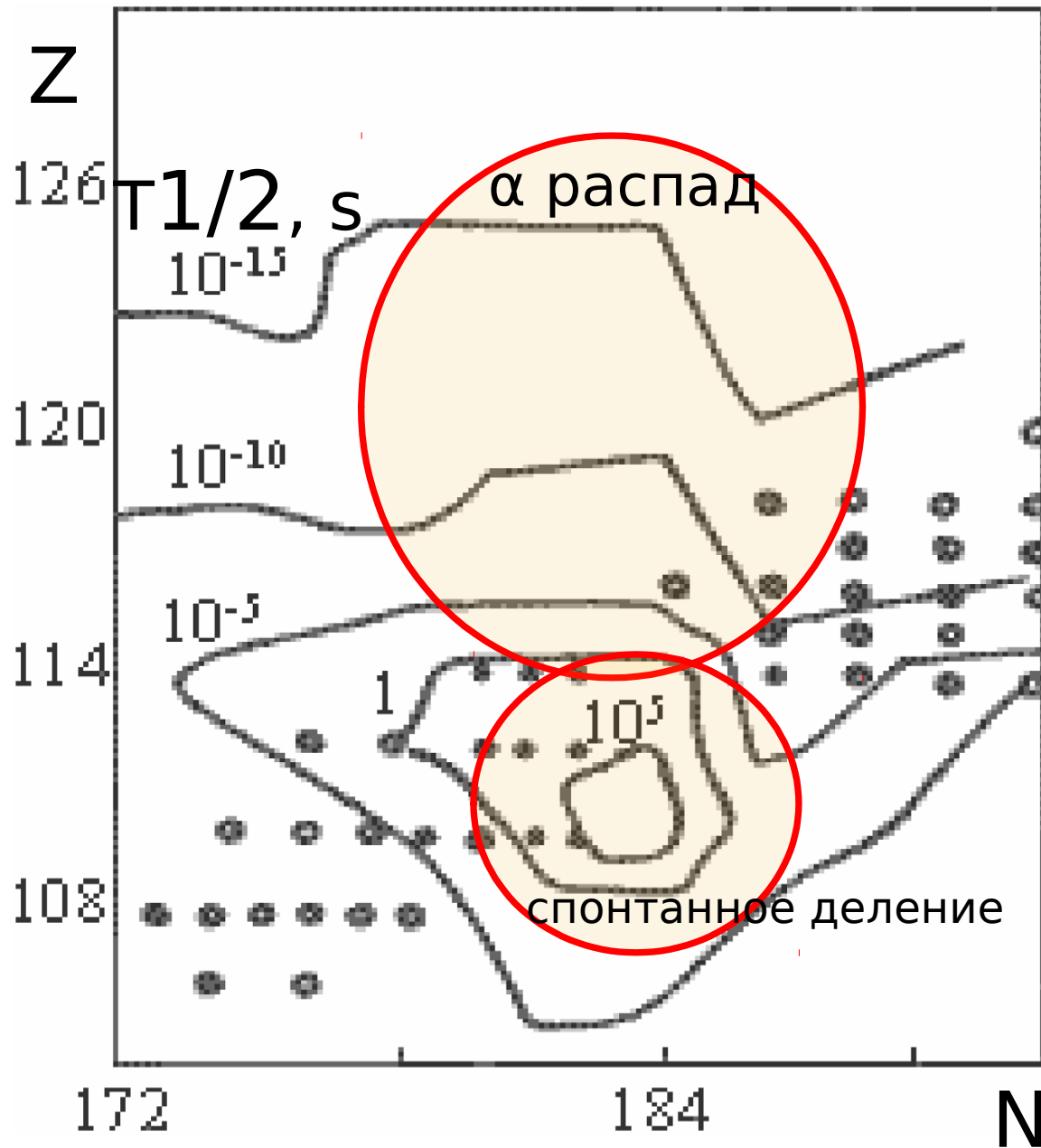
1. Необходимо, чтобы на острове стабильности был хотя бы один нуклид, с достаточно большим периодом полураспада:

$10^6 - 10^7$  лет -- поиск в галактических космических лучах,

$\sim 10^9$  лет -- поиск в земных образцах и метеоритах.

2. Свойства сверхтяжелых ядер на траектории r-процесса и на пути перехода к долине  $\beta$  стабильности должны удовлетворять условиям «выживания» ядер СТЭ.

3. Необходим эффективный механизм нуклеосинтеза (r-процесс).



Не исключено, что  
 в районе  $Z \approx 108 - 112$ ,  
 $N \leq 182$  имеются  
 ядра с временем  
 жизни около  $10^6$   
 лет и более.

Условия нуклеосинтеза СТЭ могут возникать при выбросе в межзвёздную среду вещества с плотностью нейтронов более  $10^{19} \text{ см}^{-3}$ , происходящем

при слиянии нейтронных звезд в тесных двойных системах [J.M. Lattimer and D.N. Schramm, *Astrophys. J. Lett.* **192**, L145 (1974)]

или в потоке струй с поверхности нейтронных звезд [Г.С. Бисноватый-Коган, В.М. Чечеткин, *УФН*, **127**, 263 (1979)].

Последние, наиболее полные исследования  
[I. V. Panov, I. Yu. Korneev, and F.-K. Thiemann, Phys. Atomic Nuclei,  
72 1026 (2009)  
И.Ю. Корнеев, И.В. Панов, Письма в АЖ, **37**, 930 (2011);  
K. Langanke et al., Prog. Part. Nucl. Sci. 66 (2011) 319;  
I. Petermann et al., Eur. Phys. J. A 48 (2012) 122.]

дали основания их авторам заключить, что не исключено образование в r-процессе ядер сверхтяжелых элементов на долине  $\beta$  стабильности.

Предварительный результат:  $Y(\text{SHE}) / Y(\text{U}) = 10^{-12} - 10^{-16}$ .  
Однако, более высокий выход СТЭ в r-процессе, вплоть до  
 $Y(\text{SHE}) / Y(\text{U}) = 10^{-2} - 10^{-4}$ , не исключается.

Оценка выхода сильно зависит от предсказанных масс, барьеров деления и других ядерных данных.  
Большое значение имеет выбор сценария r-процесса.

## Поиск ядер сверхтяжелых элементов в космических лучах

Два десятилетия: 1970 – 1990 годы.

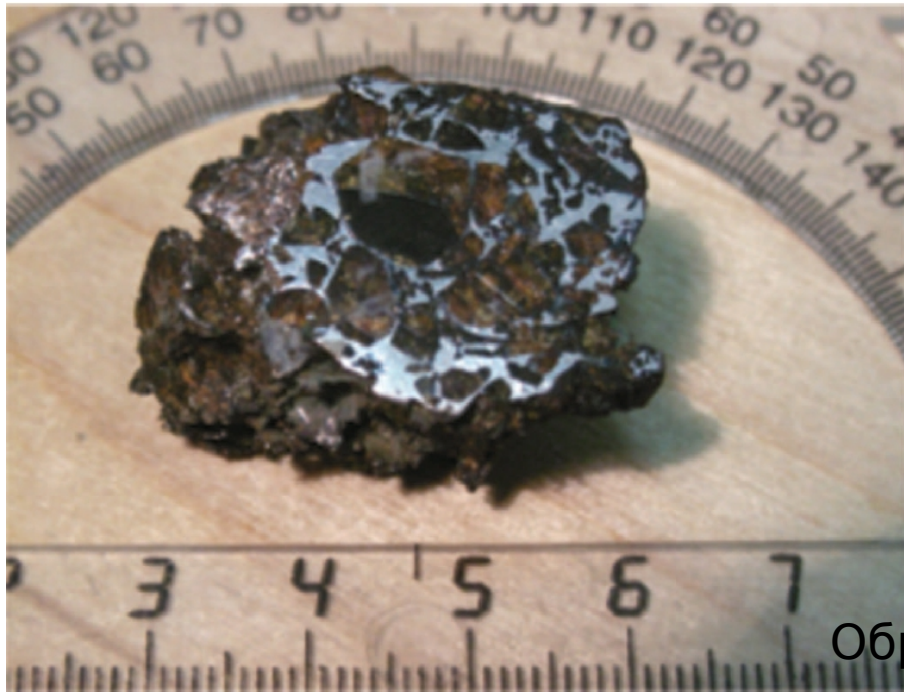
**Г.Н. Флеров** начал и развивал поиски треков ядер СТЭ в кристаллах оливина из метеоритов.

Был получен предел  $\gamma_{\text{СТЭ}}/\gamma_{\text{U}} \leq 10^{-2}$ .

# Поиск треков СТЭ в галактических космических лучах (проект **ОЛИМПИА**)

А.В. Багуля, Л.Л. Кашкаров, Н.С. Коновалов, Н.М. Окатьева, Н.Г. Полухина, Н.И. Старков

Треки ядер с  $Z > 45$  искали в кристаллах оливина, взятых из метеоритов Игл Стейшн и Марьялахти



Образец метеорита Игл Стейшн (палласит)

Обработано около 170 кристаллов оливина, размеры которых не превышают 2 – 3 мм

Получено зарядовое распределение около 6 тысяч ядер с  $Z > 55$ .

Наблюдали около **400 треков ядер Th – U**.

**Найдены три трека, возможно, оставленные космическими ядрами СТЭ.**

$$\Upsilon_{Z \geq 88} (\text{Th, U}) / \Upsilon_{74 \leq Z \leq 87} \quad 0.045 \pm 0.015$$

(Марьялахти)

$$0.025 \pm 0.02 \text{ (Игл Стейшн)}$$

В эксперименте **Ultra-Heavy Cosmic-Ray Experiment [Long Duration Exposure Facility, LDEF]** получено около **35 треков ядер Th – U**;

$$\Upsilon_{Z \geq 88} / \Upsilon_{74 \leq Z \leq 87} \approx 0.018.$$

В экспериментах, выполненных на спутниках (например, **UHCRA – LDEF**), время экспозиции детекторов составляет несколько лет.



## Поиск ядер сверхтяжелых элементов в земных образцах и в метеоритах

Более двух десятилетий, 1967 – 1990 гг., **Г.Н. Флеров** развивал поиски СТЭ в земных образцах и метеоритах типа углистых хондритов (Альенде, Ефремовка, Саратов).

Был получен **предел содержания СТЭ в веществе солнечной системы**

**~10–15 г/г.**

Для элемента с  $Z = 114$  (**Флеровий, Fl**) был дан предел

**10–14 г/г**

**в летучей фракции вещества верхней мантии Земли.**

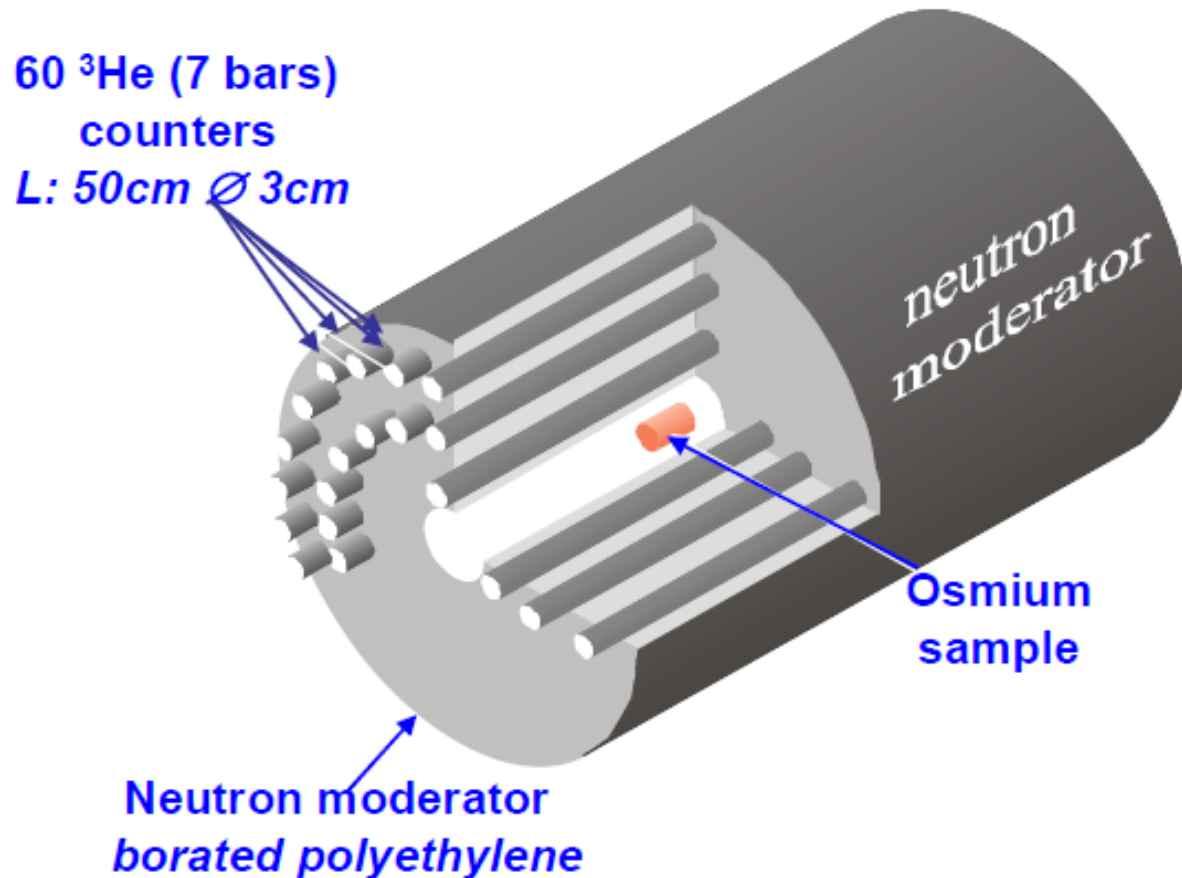
# Search for Super Heavy elements In Nature (SHIN)

Ch. Briançon, Yu. Oganessian, S. Dmitriev, et al.,

Centre de Spectrométrie Nucléaire et de Spectrométrie de Masse, Orsay

Joint Institute for Nuclear Research, Dubna (FLNR)

**Эксперименты были начаты летом 2005 года и  
продолжаются в настоящее время**





. Оганесян, Г.М. Тер-Акопьян, 33 Всероссийская конференция по космическим лучам, Дубна, 20.

Результаты поиска эка-осмия ( **$^{108}\text{Os}$** ).

Получен предел содержания эка-осмия в образце осмия весом 550 г  $\leq 10\text{--}14$  г/г; предел для земной коры –  $\leq 10\text{--}23$  г/г.

В земной коре  $1,5 \cdot 10\text{--}9$  г/г осмия.

## Что далее?

Поиск  $^{109}\text{Mt}$ ,  $^{110}\text{Ds}$ ,  $^{111}\text{Rg}$ ,  $^{112}\text{Cn}$  в доступных на земле образцах:

- рудные материалы,
- космическая пыль.

За 106 лет на 100 м<sup>2</sup> попадает  $(1-2)\times 10^9$  –  $(1-2)\times 10^{10}$  ядер урана, приходящих в потоке космических лучей.

За это время на 100 м<sup>2</sup> выпадает ~2 г космической пыли.

Минимальная скорость накопления твердых осадков на Земле приходится на околополярные территории (~1 микрон за год).

Необходимые условия:

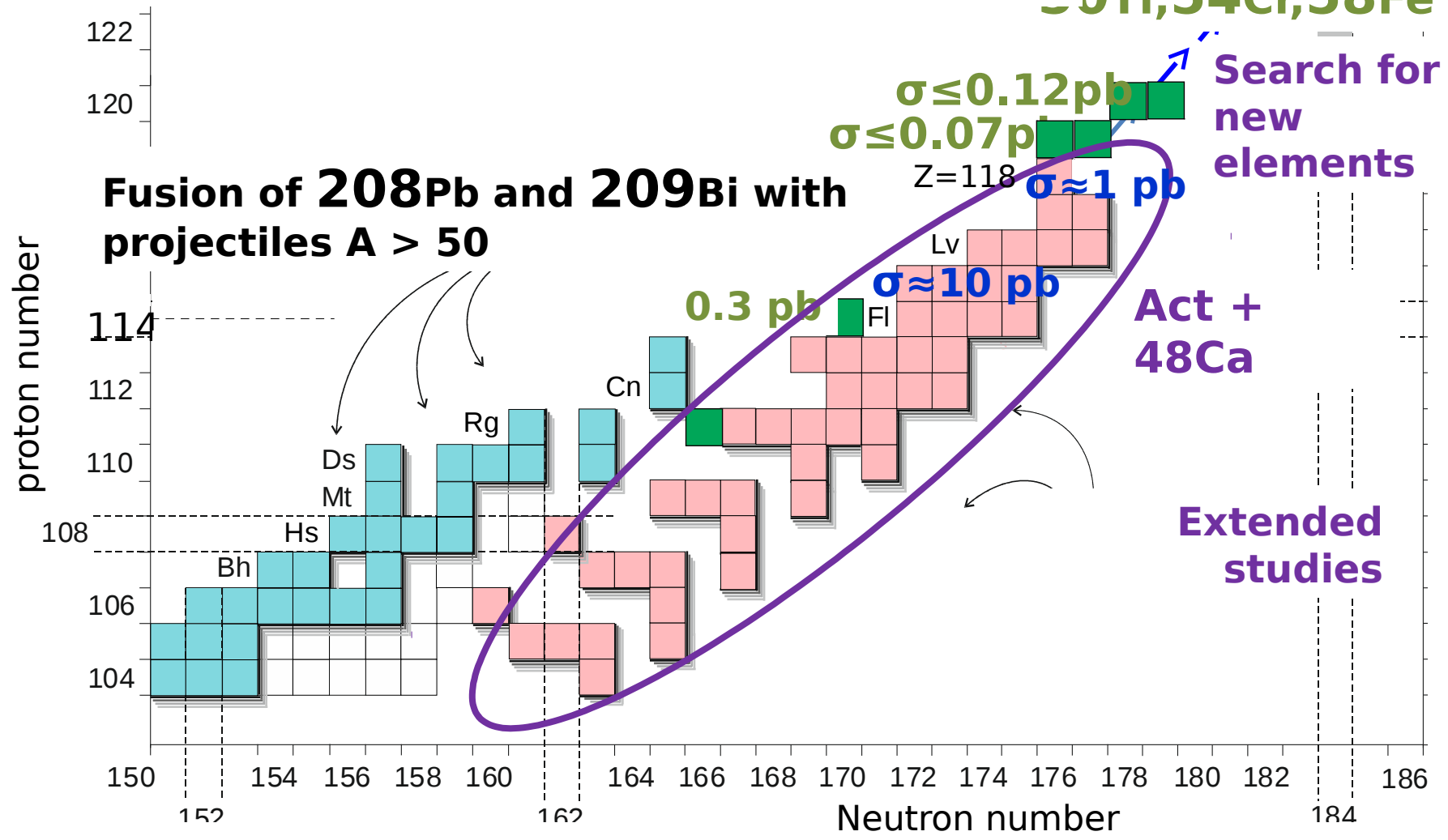
- химическое выделение искомым элементов,
- применение эффективных методов регистрации ядер СТЭ.

Эксперименты на пучках тяжелых ионов  
48Ca, 50Ti, 54Cr, 58Fe, 64Ni

**Структура сверхтяжелых ядер, свойства их радиоактивного распада, синтез ядер с  $Z > 118$  – цель ближайших экспериментов на пучках тяжелых ионов.**

Are SH atoms and nuclei different from the lighter species?  
 ...and what are the shape and density of nuclei at the mass limit?

Where is the end of the nuclear landscape



Obviously...

the research field is limited now  
by the production of super heavy nuclei

**everything we know about the heavy nuclei produced  
in  $^{48}\text{Ca}$ -induced reactions:**

...allows us to think about a SHE-Factory  
with production rate about 100 times  
higher  
than what we currently have



# SHE-Factory

Isotope production:  
Cm-248  
Bk-249  
Cf-251

**To be increased  
10 times**

New accelerator  
High beam  
dose of : Ca-48  
Ti-50  
Ni-64

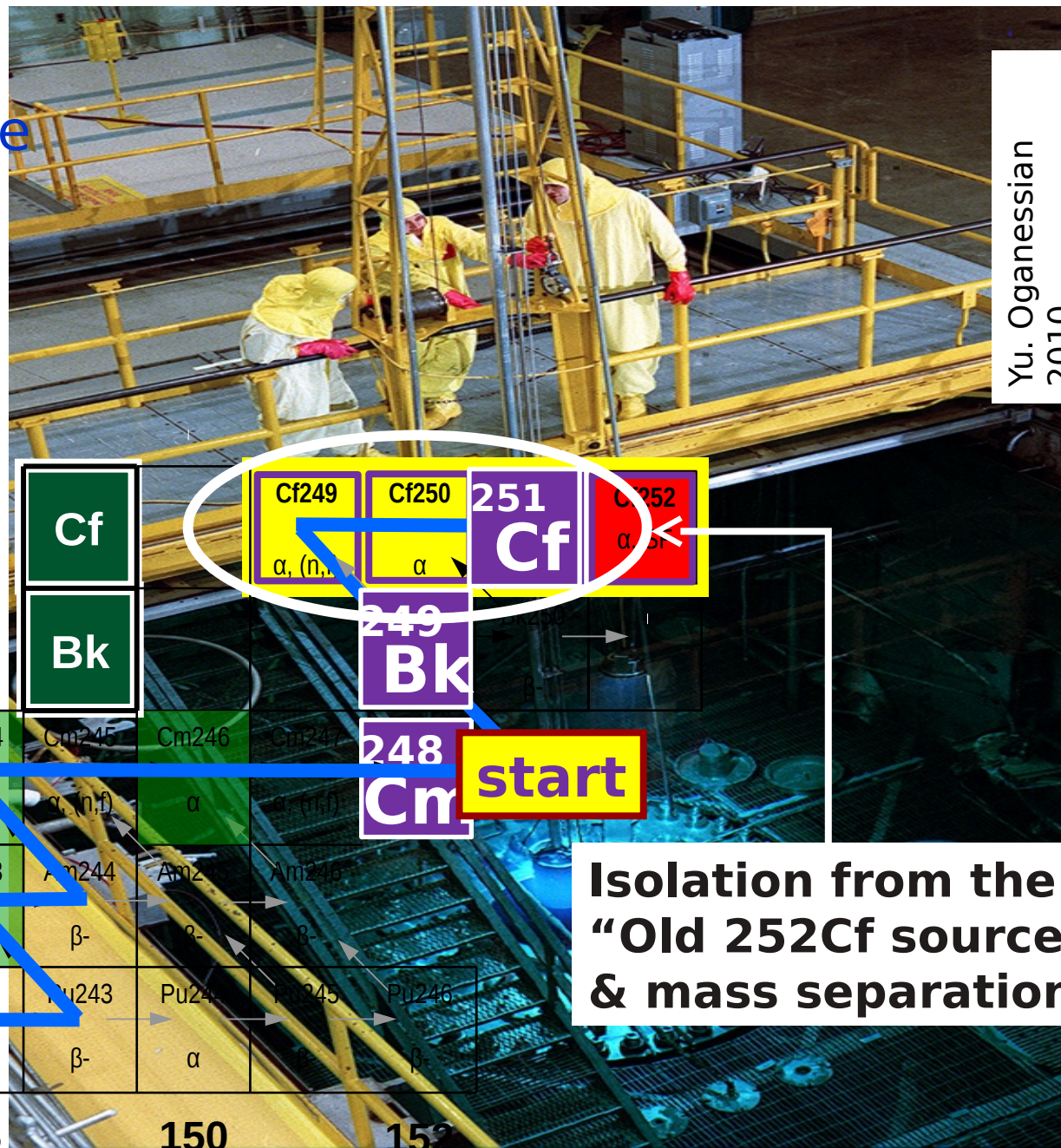
**Factor 10-20**

**Depend of  
target durability**

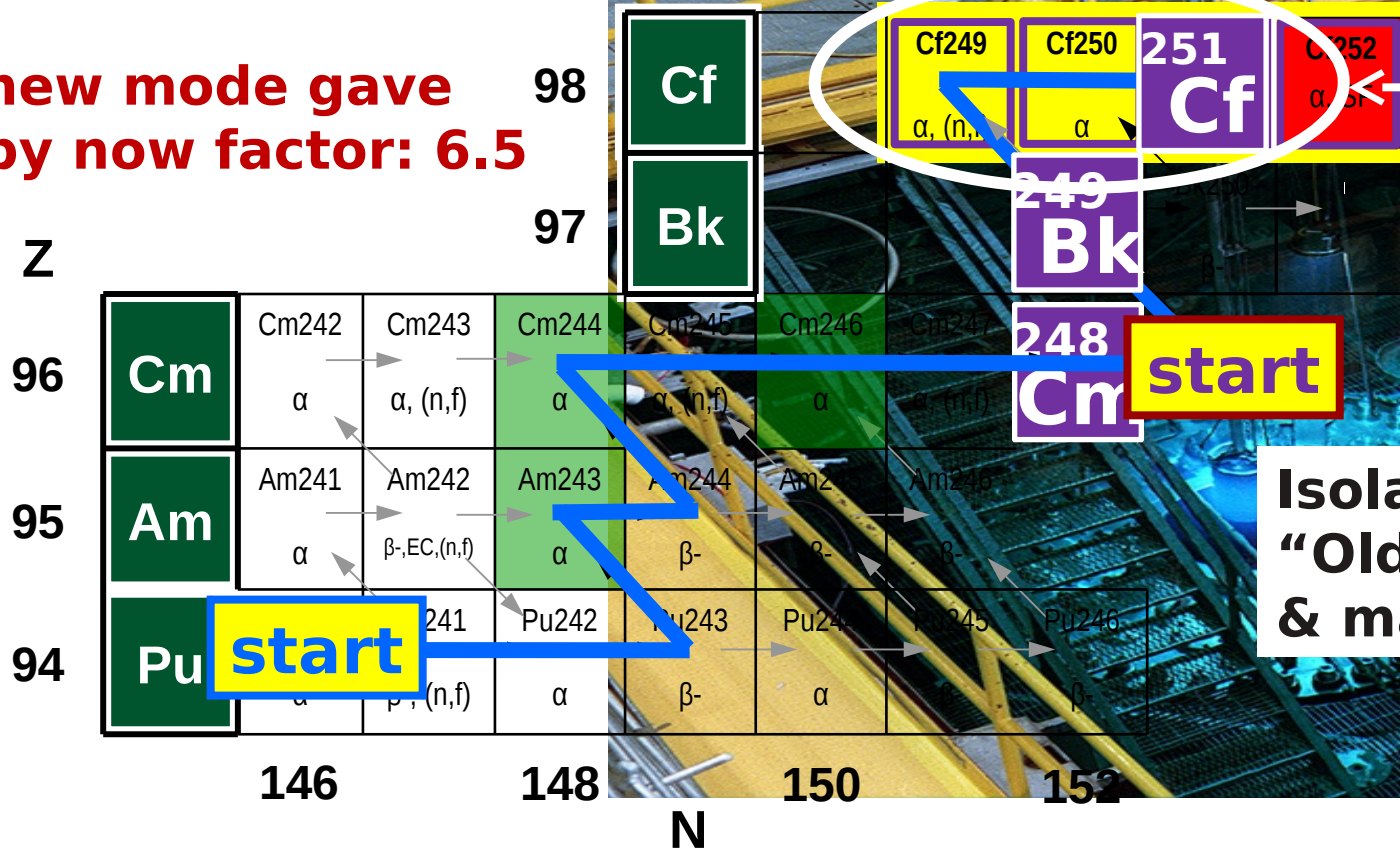
SC- separator  
& sophisticated  
detectors

**Factor 3-5  
is closely  
linked  
to the present  
progress**

# High Flux Isotope Reactor at Oak-Ridge

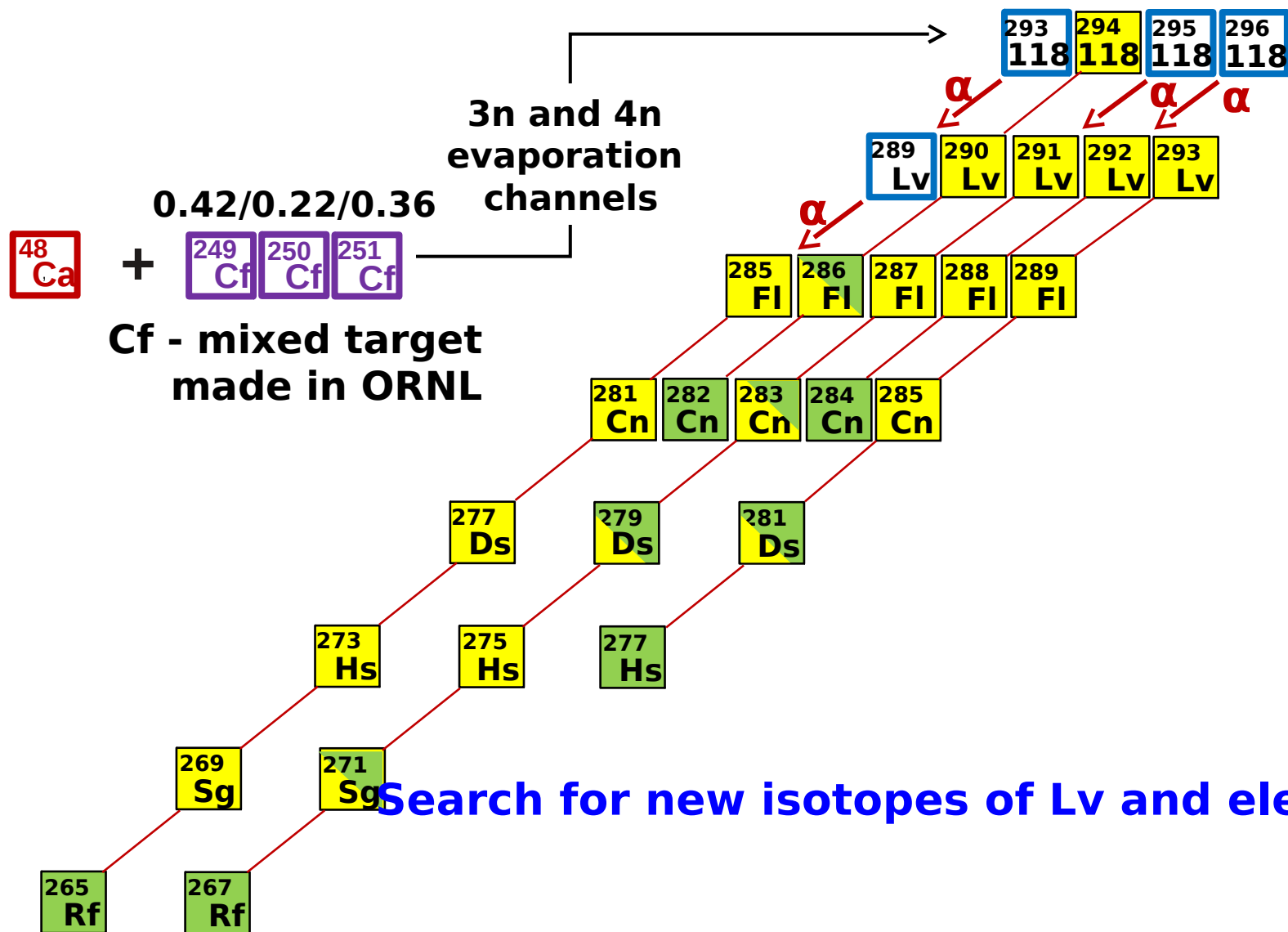


**new mode gave  
by now factor: 6.5**



**Isolation from the  
"Old 252Cf sources  
& mass separation"**

# HEAVIEST NUCLEI



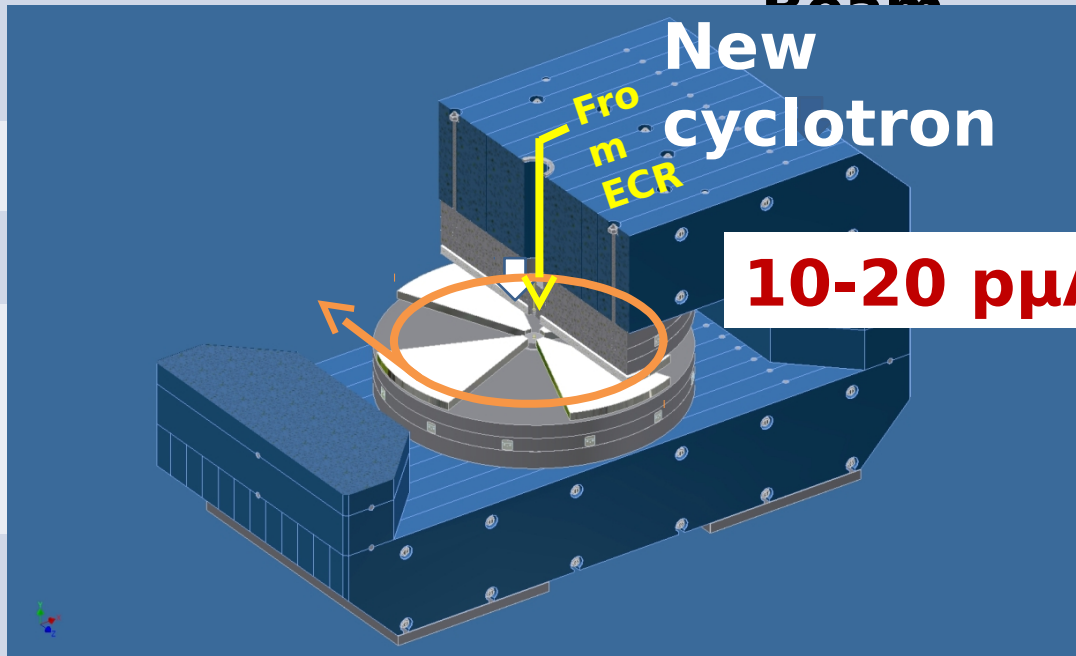
# New accelerator and new Lab. at Dubna

Production

today:  $\sim 5 \cdot 10^{19}$  /y Factory:  $1.0 \cdot 10^{21}$  /y

**factor: 20**

Increase a beam dose



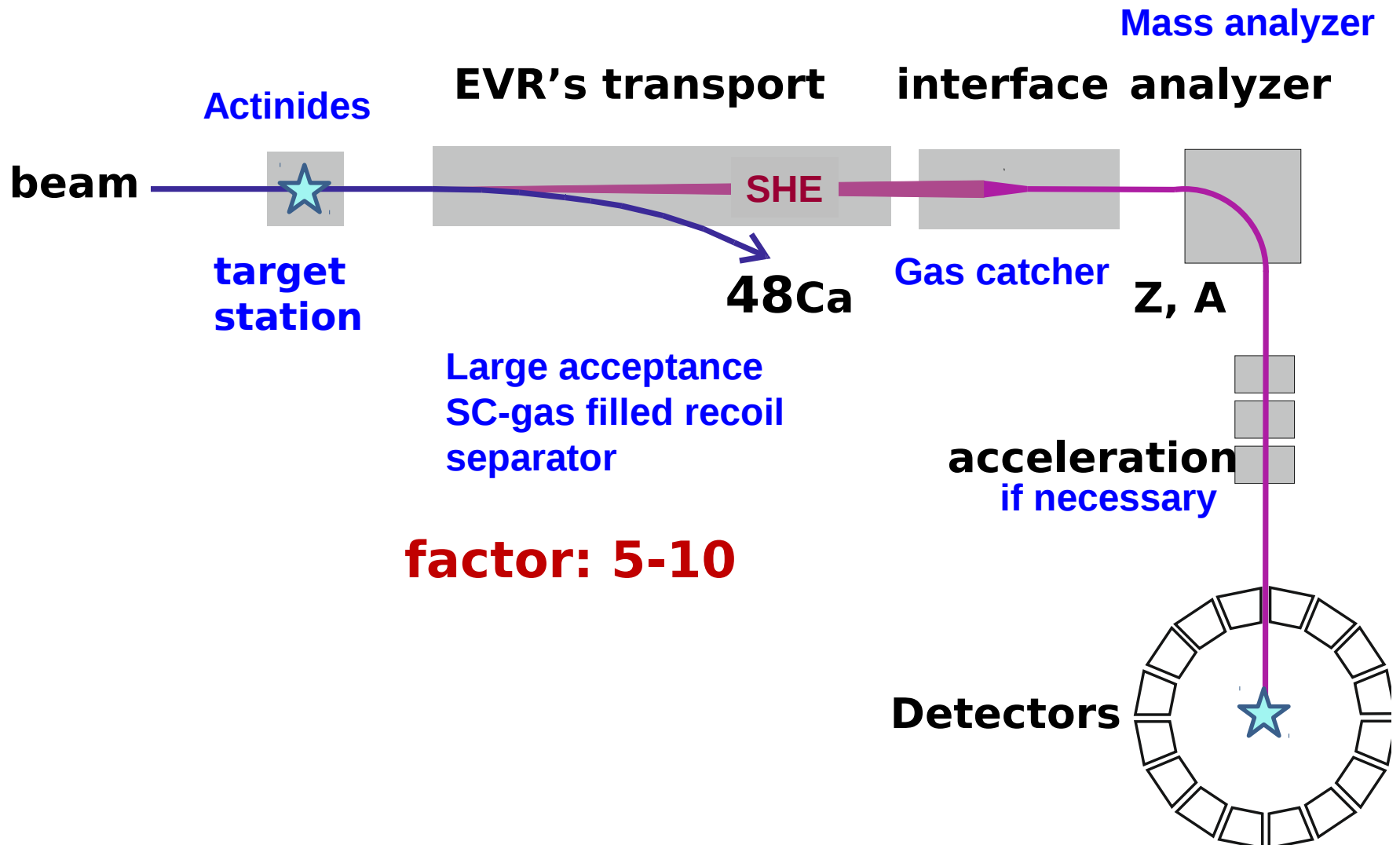
& Beam time



Factory

**$\sim 7000$  h/year**

# Scheme of the production and delivery of SH atoms to detector



Спасибо за внимание

Dubna, May 22, 2014