

# Совещание «СВЕРХТЯЖЕЛЫЕ АТОМЫ»

19 – 20 Декабря 2022, г. Дубна

## ХОД ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ 114 И 112 ЭЛЕМЕНТОВ

**Николай Аксенов**

*nikolay.aksenov@jinr.ru*

Лаборатория ядерных реакций  
им. Г.Н. Флерова



# Совещание по физике тяжелых ионов

3 – 9 Июля 2022, г. Санкт-Петербург

## Грант МОН «Сверхтяжелые ядра и атомы: пределы масс ядер и границы Периодической Таблицы Д.И. Менделеева»

### II. Сверхтяжелые атомы

- Экспериментальное определение химических свойств 112 и 114 элементов в сравнении с их легкими гомологами соответственно, ртутью и свинцом на Фабрике сверхтяжелых элементов ОИЯИ

**Н.В. Аксенов**

**Эксперименты по газодсорбционной хроматографии элементов 112 и 114**

- Актуальность
- Эксперименты в ЛЯР и GSI
- Анализ результатов

**А.В. Еремин**

**Подготовка первого эксперимента по химии 114 и 112 элементов на Фабрике СТЭ**

# Совещание «СВЕРХТЯЖЕЛЫЕ АТОМЫ»

19 – 20 Декабря 2022, г. Дубна

## ХОД ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ 114 И 112 ЭЛЕМЕНТОВ

1. Свойства Cn и Fl
  - i. Методы исследования
  - ii. Теоретические расчеты
2. Подготовка к первому эксперименту на Фабрике СТЭ
  - i. Новые результаты на сепараторе ГНС-2
  - ii. Мишень
  - iii. Сепаратор GRAND
  - iv. Криогенный детектор
  - v. Тесты on-line: газовый транспорт и пробеги ядер отдачи
3. Ход эксперимента и первые результаты

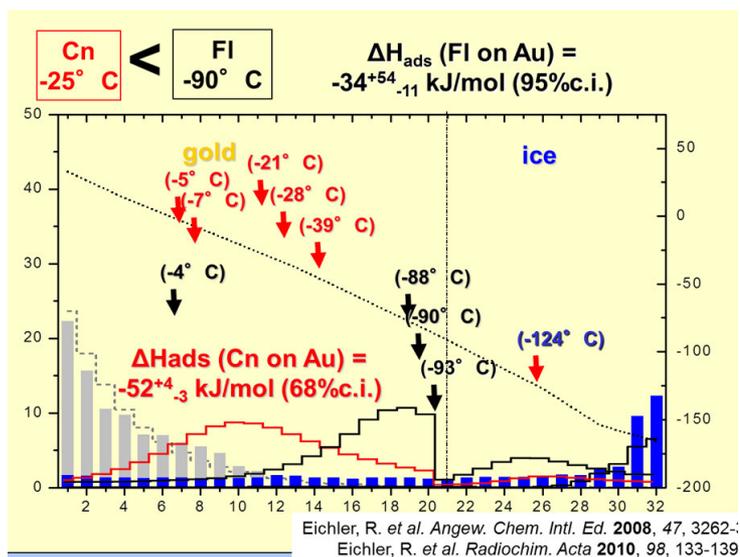
# ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Газоадсорбционная хроматография на золоте:

- 2000-2003 ЛЯР и PSI/GSI - Cn
- 2006-2013 PSI/ЛЯР - Cn, Fl
- 2009 TASCA GSI - Cn, Fl
- 2014-2018 TASCA GSI - Fl – публикация август 2022

## Indication for a volatile element 114

By R. Eichler<sup>1,2,\*</sup>, N. V. Aksenov<sup>3</sup>, Yu. V. Albin<sup>3</sup>, A. V. Belozero<sup>3</sup>, G. A. Bozhikov<sup>3</sup>, V. I. Chepigin<sup>3</sup>, S. N. Dmitriev<sup>3</sup>, R. Dressler<sup>1</sup>, H. W. Gäggeler<sup>1,2</sup>, V. A. Gorshkov<sup>3</sup>, R. A. Henderson<sup>3</sup>, A. M. Johnsen<sup>4</sup>, J. M. Kenneally<sup>4</sup>, V. Ya. Lebedev<sup>3</sup>, O. N. Malyshev<sup>3</sup>, K. J. Moody<sup>4</sup>, Yu. Ts. Oganessian<sup>3</sup>, O. V. Petrushkin<sup>3</sup>, D. Piguet<sup>1</sup>, A. G. Popeko<sup>3</sup>, P. Rasmussen<sup>1</sup>, A. Serov<sup>1,2</sup>, D. A. Shaughnessy<sup>4</sup>, S. V. Shishkin<sup>3</sup>, A. V. Shutov<sup>3</sup>, M. A. Stoyer<sup>4</sup>, N. J. Stoyer<sup>4</sup>, A. I. Svirikhin<sup>3</sup>, E. E. Tereshatov<sup>3</sup>, G. K. Vostokin<sup>3</sup>, M. Wegrezecki<sup>3</sup>, P. A. Wilk<sup>4</sup>, D. Wittwer<sup>2</sup> and A. V. Yeremin<sup>3</sup>



- высокая летучесть и инертность в атомарном состоянии
- физисорбция на золоте
- благородный металл или газ

Check for updates

### OPEN ACCESS

EDITED BY  
 Xiangfei Kong,  
 Nankai University, China

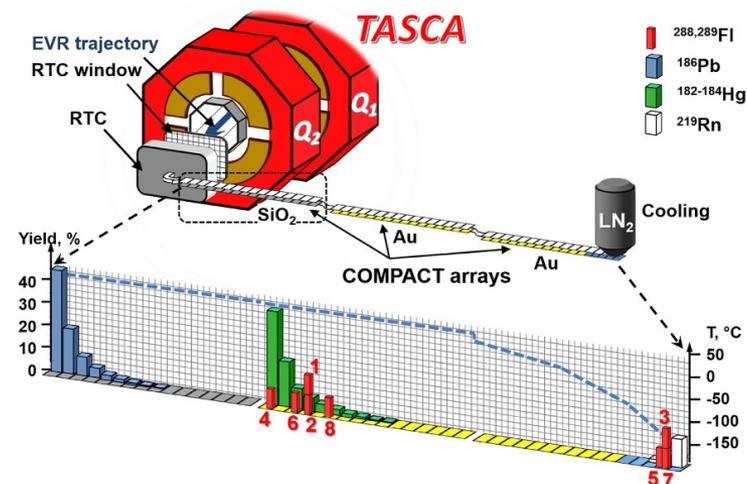
REVIEWED BY  
 Andreas Türler,  
 University of Bern, Switzerland  
 Jun Zhang,  
 Pacific Northwest National Laboratory  
 (DOE), United States

\*CORRESPONDENCE  
 A. Yakushev,  
 ayakushev@gsi.de

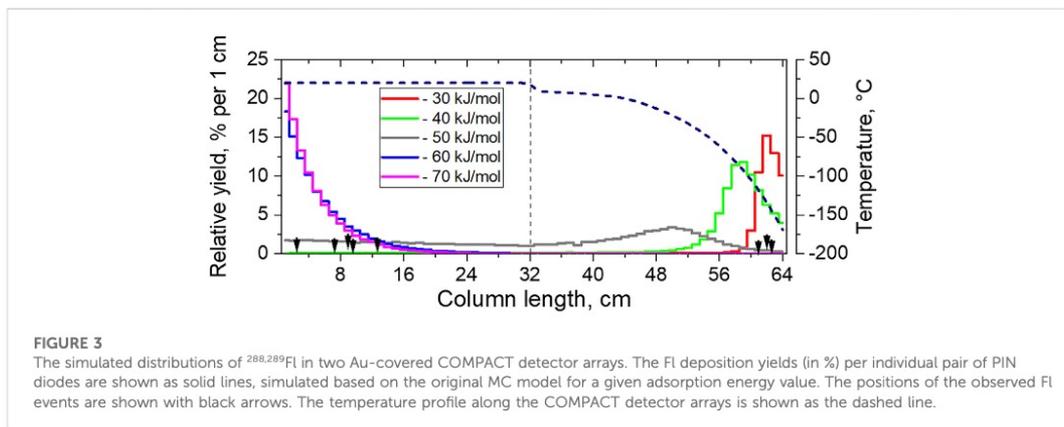
<sup>†</sup>PRESENT ADDRESSES  
 L. Lens, Hochschule Mannheim,  
 Mannheim, Germany  
 P. Papadakis,  
 STFC Daresbury Laboratory, Daresbury,  
 Warrington, United Kingdom  
 A. Toyoshima,  
 Osaka University, Osaka, Japan  
 A. Di Nitto,  
 Università "Federico II" di Napoli, Naples,  
 Italy  
 U. Forsberg,  
 Studsvik Nuclear, Tystberga, Sweden

## On the adsorption and reactivity of element 114, flerovium

A. Yakushev<sup>1,2,\*</sup>, L. Lens<sup>1,3†</sup>, Ch. E. Düllmann<sup>1,2,3</sup>,  
 J. Khuyagbaatar<sup>1,2</sup>, E. Jäger<sup>1</sup>, J. Krier<sup>1</sup>, J. Runke<sup>1,3</sup>, H. M. Albers<sup>1</sup>,  
 M. Asai<sup>4</sup>, M. Block<sup>1,2,3</sup>, J. Despotopoulos<sup>5</sup>, A. Di Nitto<sup>1,3†</sup>,  
 K. Eberhardt<sup>3</sup>, U. Forsberg<sup>6†</sup>, P. Golubev<sup>6</sup>, M. Götz<sup>1,2,3</sup>,  
 S. Götz<sup>1,2,3</sup>, H. Haba<sup>7</sup>, L. Harkness-Brennan<sup>8</sup>, R.-D. Herzberg<sup>8</sup>,  
 F. P. Heßberger<sup>1,2</sup>, D. Hinde<sup>9</sup>, A. Hübner<sup>1</sup>, D. Judson<sup>8</sup>,  
 B. Kindler<sup>1</sup>, Y. Komori<sup>7</sup>, J. Konki<sup>10</sup>, J.V. Kratz<sup>3</sup>, N. Kurz<sup>1</sup>,  
 M. Laatiaoui<sup>1,2,3</sup>, S. Lahiri<sup>11</sup>, B. Lommel<sup>1</sup>, M. Maiti<sup>12</sup>, A. K. Mistry<sup>1,2</sup>,  
 Ch. Mokry<sup>2,3</sup>, K. J. Moody<sup>5</sup>, Y. Nagame<sup>4</sup>, J. P. Omtvedt<sup>13</sup>,  
 P. Papadakis<sup>8†</sup>, V. Pershina<sup>1</sup>, D. Rudolph<sup>6</sup>, L.G. Samiento<sup>6</sup>,  
 T.K. Sato<sup>4</sup>, M. Schädel<sup>1</sup>, P. Scharrer<sup>1,2,3</sup>, B. Schausten<sup>1</sup>,  
 D. A. Shaughnessy<sup>5</sup>, J. Steiner<sup>1</sup>, P. Thörle-Pospiech<sup>2,3</sup>,  
 A. Toyoshima<sup>4†</sup>, N. Trautmann<sup>3</sup>, K. Tsukada<sup>4</sup>, J. Uusitalo<sup>10</sup>,  
 K.-O. Voss<sup>1</sup>, A. Ward<sup>8</sup>, M. Wegrezecki<sup>14</sup>, N. Wieh<sup>2,3</sup>, E. Williams<sup>9</sup>  
 and V. Yakushev<sup>1,2</sup>



- высокая летучесть Fl
- хемосорбция на золоте
- металлические свойства
- две зоны осаждения Fl
- два сценария

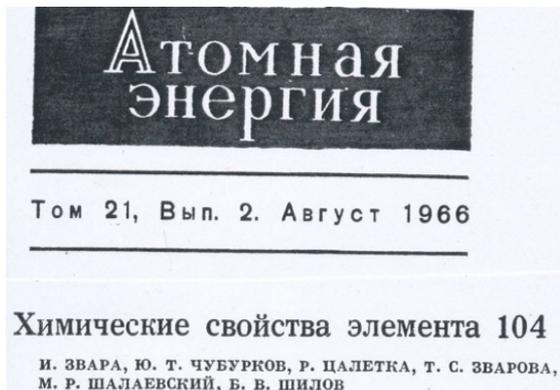


Симуляции по методу Монте-Карло на основе модели мобильной адсорбции (модель Звары) не могут описать экспериментальный результат:

Сценарий 1. Образование двух химических форм

Сценарий 2. Адсорбция на неомогенной поверхности золота

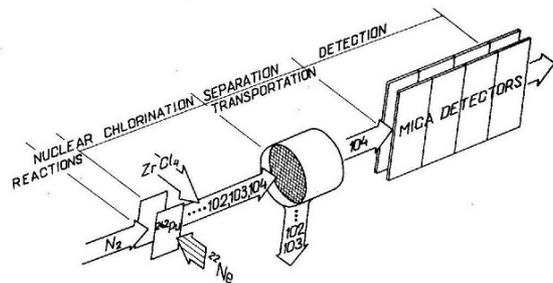
**Нужна более высокая статистика: Фабрика СТЭ**



Стратегия:

Сравнить химические свойства(поведение) СТЭ со свойствами его более легких гомологов в группе ПТ используя групповые отличия – летучесть соединений

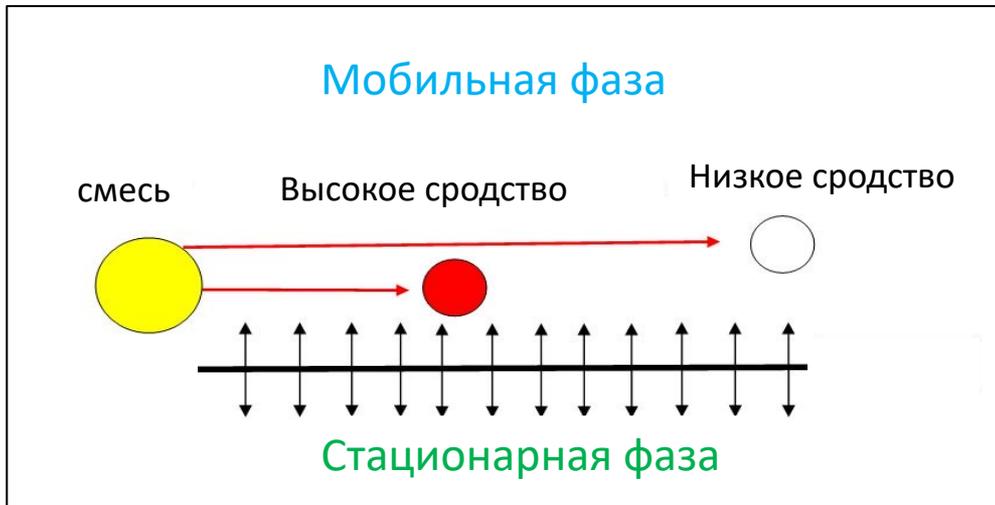
- Шаг 1: получение СТЭ в ядерной реакции
- Шаг 2: получение летучего соединения СТЭ в химической реакции
- Шаг 3: измерение радиоактивного распада сверхтяжелого атома
- Шаг 4: экстраполяция данных адсорбции на макроскопические величины



ИЮПАК признал точную химическую идентификацию открытием элемента 104

Методика успешно применялась во всех последующих исследованиях с элементами 104-108

## ГАЗОАДСОРБЦИОННАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ



Разделение происходит из-за разницы в летучести и взаимодействии атомов с поверхностью

### Адсорбция на металлах:

Температура осаждения определяется энтальпией адсорбции, которая коррелирует с энтальпией сублимации

### Химия с одним атомом

- высокая скорость разделения
- регистрация SF - максимальная чувствительность
- практически бесконечный объем образца
- широкий температурный диапазон
- высокая эффективность разделения
- Летучесть
- Инертное поведение
- Элементарное состояние

**Постановка экспериментов требует больших технических, инженерных и интеллектуальных усилий**

## 2. ЭКСПЕРИМЕНТЫ @ЛЯР/ PSI – Cn (2006-2007)

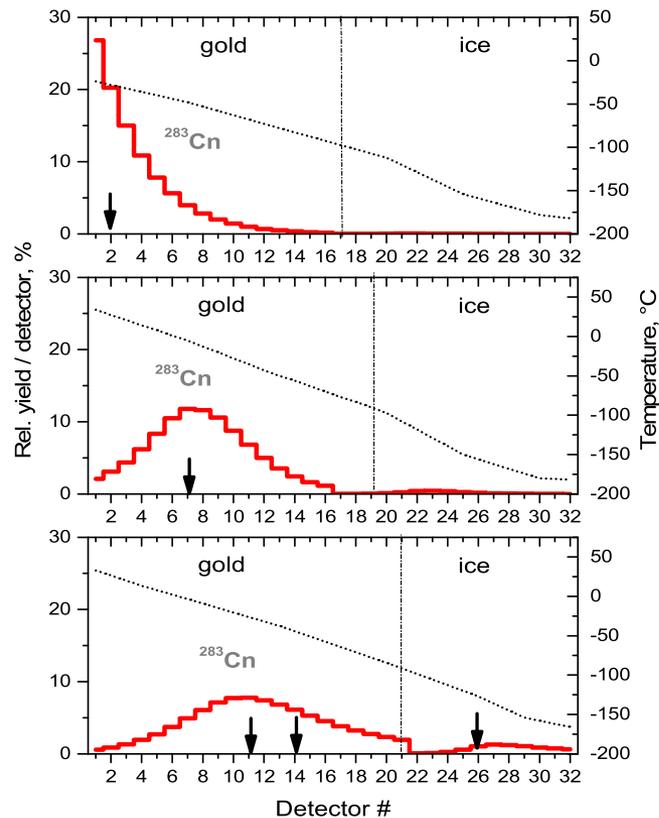
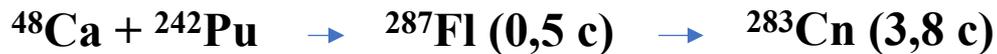
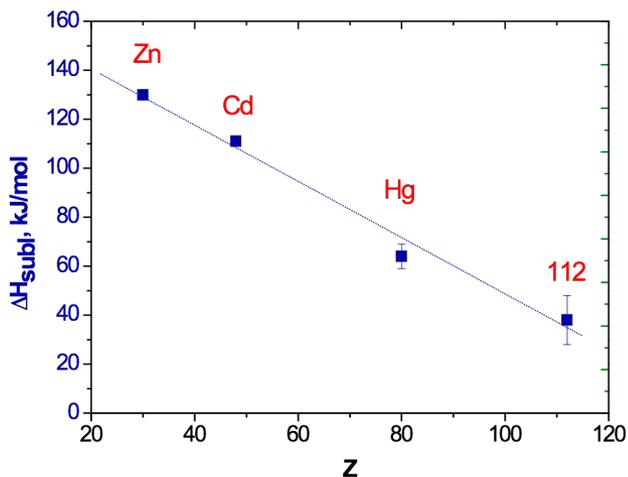
nature

Vol 447:3 May 2007 | doi:10.1038/nature05761

### LETTERS

#### Chemical characterization of element 112

R. Eichler<sup>1,2</sup>, N. V. Aksenov<sup>3</sup>, A. V. Belozero<sup>3</sup>, G. A. Bozhikov<sup>3</sup>, V. I. Chepigin<sup>3</sup>, S. N. Dmitriev<sup>3</sup>, R. Dressler<sup>1</sup>, H. W. Gäggeler<sup>1,2</sup>, V. A. Gorshkov<sup>3</sup>, F. Haenssler<sup>1,2</sup>, M. G. Itkis<sup>3</sup>, A. Laube<sup>1</sup>, V. Ya. Lebedev<sup>3</sup>, O. N. Malyshev<sup>3</sup>, Yu. Ts. Oganessian<sup>3</sup>, O. V. Petrushkin<sup>3</sup>, D. Piguet<sup>1</sup>, P. Rasmussen<sup>1</sup>, S. V. Shishkin<sup>3</sup>, A. V. Shutov<sup>3</sup>, A. I. Svirikhin<sup>3</sup>, E. E. Tereshatov<sup>3</sup>, G. K. Vostokin<sup>3</sup>, M. Wegrzeck<sup>3</sup> & A. V. Yeremin<sup>3</sup>



В последующих экспериментах зарегистрировано 13 цепочек распада  $^{283}\text{Cn}$  и  $^{285}\text{Cn}$  подтверждающих наблюдаемые свойства

## ВЛИЯНИЕ РЭ: ПРЕДСКАЗАНИЕ СВОЙСТВ

1. Экстраполяции термодинамических свойств вниз по группе из экспериментальных данных

Б. Айхлер (1974, ЛЯР)  
Высокая летучесть элементов 112-118

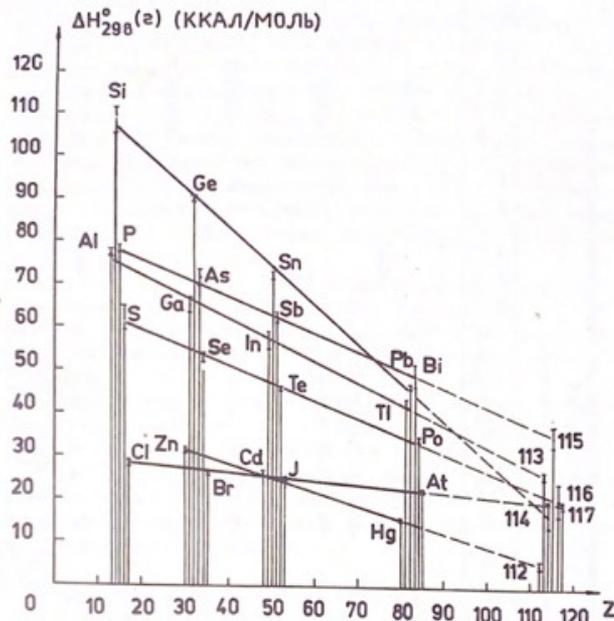


Рис. 5. Стандартная энтальпия газобразных элементов в атомарном состоянии в зависимости от Z.

2. Расчеты электронной структуры:

В. Першина  
Теоретические исследования хим. свойств СТЭ

А.М. Рыжков  
Адсорбционные свойства сверхтяжелых элементов и их соединений на поверхности золота

Д.А. Глазов  
Свойства оксидов, гидридов и гидроксидов СТЭ, их адсорбция на золоте и кварце

## ГАЗОАДСОРБЦИОННАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ

Специфика изучения Cn и Fl

Химия атомов отдачи – впервые без носителя

Низкая статистика

Свойства поверхности

Реакции в газе и на поверхности

Адсорбция на металлах:

Температура осаждения определяется энтальпией адсорбции, которая коррелирует с энтальпией сублимации

- Летучесть
- Инертное поведение
- Элементарное состояние

## Текущие теоретические задачи

А. Астахов, Г. Божиков, Б.Л. Жуйков, Н.В. Аксенов

### 1. Выход за рамки модели мобильной адсорбции:

- Разработка модельных молекулярно-динамических потенциалов для изучения адсорбции атомов СТЭ на золоте;
- Совместное применение методов квантовой химии и молекулярной динамики для параметризации моделей адсорбции по методу Монте-Карло
- Оценка газокинетических и адсорбционных свойств атомов и молекул СТЭ:
  - кинетический диаметр атома/молекулы;
  - частота нормальных колебаний адсорбированного атома/молекулы на поверхности адсорбента;
  - вероятность дрейфа атома/молекулы по поверхности адсорбента + длина скачков между адсорбированными состояниями;

2. Построение корреляций между энергией связи адсорбата с адсорбентом и типом их химического связывания.

# Подготовка к первому химическому эксперименту на Фабрике СТЭ

### Investigation of $^{48}\text{Ca}$ -induced reactions with $^{242}\text{Pu}$ and $^{238}\text{U}$ targets at the JINR Superheavy Element Factory

Yu. Ts. Oganessian,<sup>1</sup> V. K. Utyonkov,<sup>1</sup> D. Ibadullayev,<sup>1,2</sup> F. Sh. Abdullin,<sup>1</sup> S. N. Dmitriev,<sup>1</sup> M. G. Itkis,<sup>1</sup> A. V. Karpov,<sup>1</sup> N. D. Kovrizhnykh,<sup>1</sup> D. A. Kuznetsov,<sup>1</sup> O. V. Petrushkin,<sup>1</sup> A. V. Podshibiakin,<sup>1</sup> A. N. Polyakov,<sup>1</sup> A. G. Popeko,<sup>1</sup> R. N. Sagaidak,<sup>1</sup> L. Schlattauer,<sup>1,3</sup> V. D. Shubin,<sup>1</sup> M. V. Shumeiko,<sup>1</sup> D. I. Solovyev,<sup>1</sup> Yu. S. Tsyganov,<sup>1</sup> A. A. Voinov,<sup>1</sup> V. G. Subbotin,<sup>1</sup> A. Yu. Bodrov,<sup>1</sup> A. V. Sabel'nikov,<sup>1</sup> A. Lindner,<sup>1,3</sup> K. P. Rykaczewski,<sup>4</sup> T. T. King,<sup>4</sup> J. B. Roberto,<sup>4</sup> N. T. Brewer,<sup>4,\*</sup> R. K. Grzywacz,<sup>4,5</sup> Z. G. Gan,<sup>6</sup> Z. Y. Zhang,<sup>6</sup> M. H. Huang,<sup>6</sup> and H. B. Yang<sup>1,6</sup>

TABLE I. The  $^{242}\text{Pu}$  and  $^{238}\text{U}$  target thicknesses, laboratory-frame energies of  $^{48}\text{Ca}$  in the middle of the target layer, resulting excitation energy intervals (with use of mass tables [19,20]), total beam doses, the numbers of observed decay chains assigned to  $^{287}\text{Fl}$  ( $3n$ ),  $^{286}\text{Fl}$  ( $4n$ ), and  $^{285}\text{Cn}$  ( $3n$ ) and the cross sections of their production.

Target thickness (mg/cm <sup>2</sup> )	$E_{\text{lab}}^a$ (MeV)	$E^*$ (MeV)	Beam dose $\times 10^{18}$	No. of chains $3n/4n$	$\sigma_{3n}$ (pb)	$\sigma_{4n}$ (pb)
$^{242}\text{Pu}$ $10 \times 0.76$ , $0.56, 0.35$	242.5	37.1-40.7	11.2	65/11	$10.4^{+3.5}_{-2.1}$	$1.8^{+1.0}_{-0.6}$
$^{238}\text{U}$ $0.67$	247.5	41.3-44.8	5.0	4/14	$1.2^{+1.2}_{-0.7}$	$4.8^{+2.1}_{-1.6}$
	234.4	33.6-37.1	12.1	4/0	$0.5^{+0.5}_{-0.3}$	–
	231.1	30.7-34.4	13.5	12/0	$1.5^{+0.7}_{-0.5}$	–

<sup>a</sup>The beam energy was measured with a time-of-flight system, which has a systematic uncertainty of 1 MeV.

TABLE II. Summary decay properties of isotopes extracted from previous and present studies. The first three columns show nucleus, decay mode and branch, as well as half-life. The next four columns show  $\alpha$ -particle energy  $E_\alpha$ ,  $\alpha$ -decay energy  $Q_\alpha$ , and partial half-lives with respect to  $\alpha$  decay and SF.

Nucleus	Decay mode, branch (%) <sup>a,b</sup>	Half-life <sup>b</sup>	$E_\alpha$ (MeV) <sup>c</sup>	$Q_\alpha$ (MeV) <sup>c</sup>	$T_\alpha^b$	$T_{\text{SF}}^b$
$^{287}\text{Fl}$	$\alpha$ : > 70	$360^{+45}_{-36}$ ms	10.016(15)	10.157(15)		> 1 s
$^{286}\text{Fl}$	$\alpha$ : $55 \pm 8$	$105^{+17}_{-13}$ ms	10.191(10)	10.335(10)	$0.19^{+0.05}_{-0.04}$ s	$0.23^{+0.07}_{-0.04}$ s
$^{283}\text{Cn}$	$\alpha$ : $96^{+3}_{-6}$	$3.81^{+0.45}_{-0.36}$ s	9.531(15)	9.667(15)	$4.0^{+0.5}_{-0.4}$ s	$90^{+160}_{-50}$ s
$^{282}\text{Cn}$	SF	$0.83^{+0.18}_{-0.13}$ ms				
$^{279}\text{Ds}$	SF: $87^{+2}_{-5}$	$186^{+21}_{-17}$ ms	9.686(15)	9.827(15)	$1.4 \pm 0.4$ s	$0.22^{+0.02}_{-0.03}$ s
$^{275}\text{Hs}$	$\alpha$ : > 89	$0.60^{+0.23}_{-0.13}$ s	9.323(15)	9.461(15)	< 0.9 s	> 4 s
$^{271}\text{Sg}$	$\alpha$ : $73^{+10}_{-15}$	$31^{+13}_{-7}$ s	8.501(16)	8.629(16)	$43^{+21}_{-11}$ s	$120^{+90}_{-50}$ s
$^{267}\text{Rf}$	SF	$48^{+23}_{-12}$ min				

<sup>a</sup>Branch is given for the most probable decay mode ( $\alpha$  or SF). The branching ratio is not listed when only one decay mode was observed.

<sup>b</sup>Error bars correspond to 68%-confidence level.

<sup>c</sup>Energy uncertainties given in parentheses correspond to the data with the best energy resolution.

<sup>d</sup>Branch is determined from the data where  $^{283}\text{Cn}$  was observed as the daughter nucleus after  $\alpha$  decay of  $^{287}\text{Fl}$ ; see the text.

## План работ по п. 7 гранта.

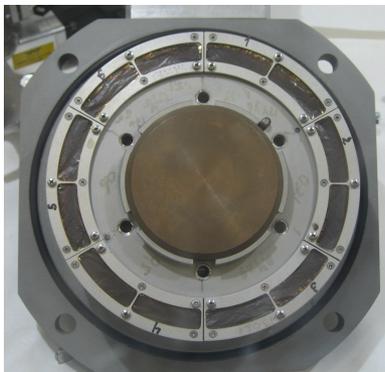
Для реализации вышеуказанной задачи будет создана новая установка для изучения химических свойств сверхтяжелых элементов (СТЭ) на пучке ионов Ca-48, полученного на циклотроне ДЦ-280. Установка включает газонаполненный сепаратор продуктов ядерных реакций, газовую камеру сбора ядер отдачи, систему быстрого газового транспорта продуктов реакции в детектирующий модуль – крио-детектор. Для проведения этих экспериментов будет изготовлена мишень из обогащенного изотопа Pu-242 и создан специализированный стенд для получения металлического Ca-48.

А.В. Еремин / Р. Айхлер / Н.В. Аксенов /

# Изготовление радиоактивных мишеней для ДЦ-280 в 2021

А.В. Сабельников, А.Ю. Бодров, Н.В. Аксенов

$^{243}\text{Am}$



$\text{AmO}_2$

380  $\mu\text{г}/\text{см}^2$

1,5  $\mu\text{м}$  Ti

колесо  $\text{Ø}150$

6 сегментов

E, МэВ

I,  $\times 10^{18}$

Ток, мкА\*ч

Даты

240.9

$2.2 \times 10^{18}$

1.04 / 1.3

19.01. – 04.02.

$^{242}\text{Pu}$



$\text{PuO}_2$

758  $\mu\text{г}/\text{см}^2$

1,5  $\mu\text{м}$  Ti

колесо  $\text{Ø}240$

12 сегментов

242.5

11.2

1.16 / **3.0**

18.03. – 07.06.

247.5

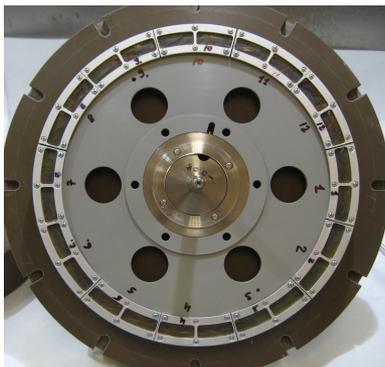
5.0

3

31.05 - 07.06

**$1.62\text{E}+19$**

$^{238}\text{U}$



$\text{U}_3\text{O}_8 + \text{UO}_2$

743  $\mu\text{г}/\text{см}^2$

1,5  $\mu\text{м}$  Ti

колесо  $\text{Ø}240$

12 сегментов

246.0

12

**до 5**

19.09. – 11.10.

243.0

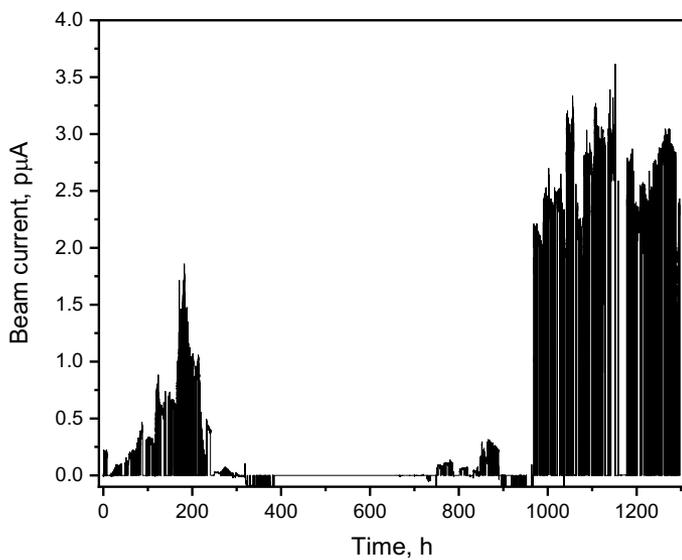
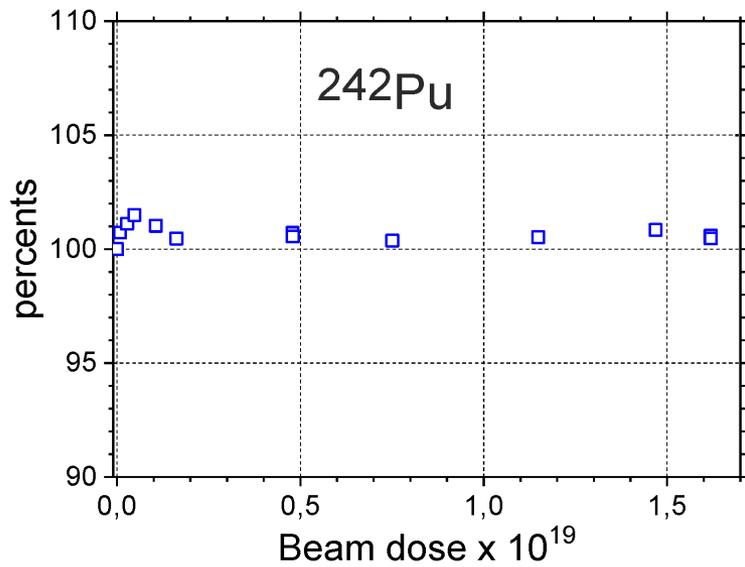
13

**6.5**

11.10. – 27.10.

**$2.55\text{E}+19$**

## Устойчивость мишеней: спектрометрия на ГНС-2



## Изготовление мишеней для экспериментов на ДЦ-280 в 2022

- Мишень  $^{242}\text{Pu}$  для эксперимента по изучению химии FI/Cn после ГНС-3

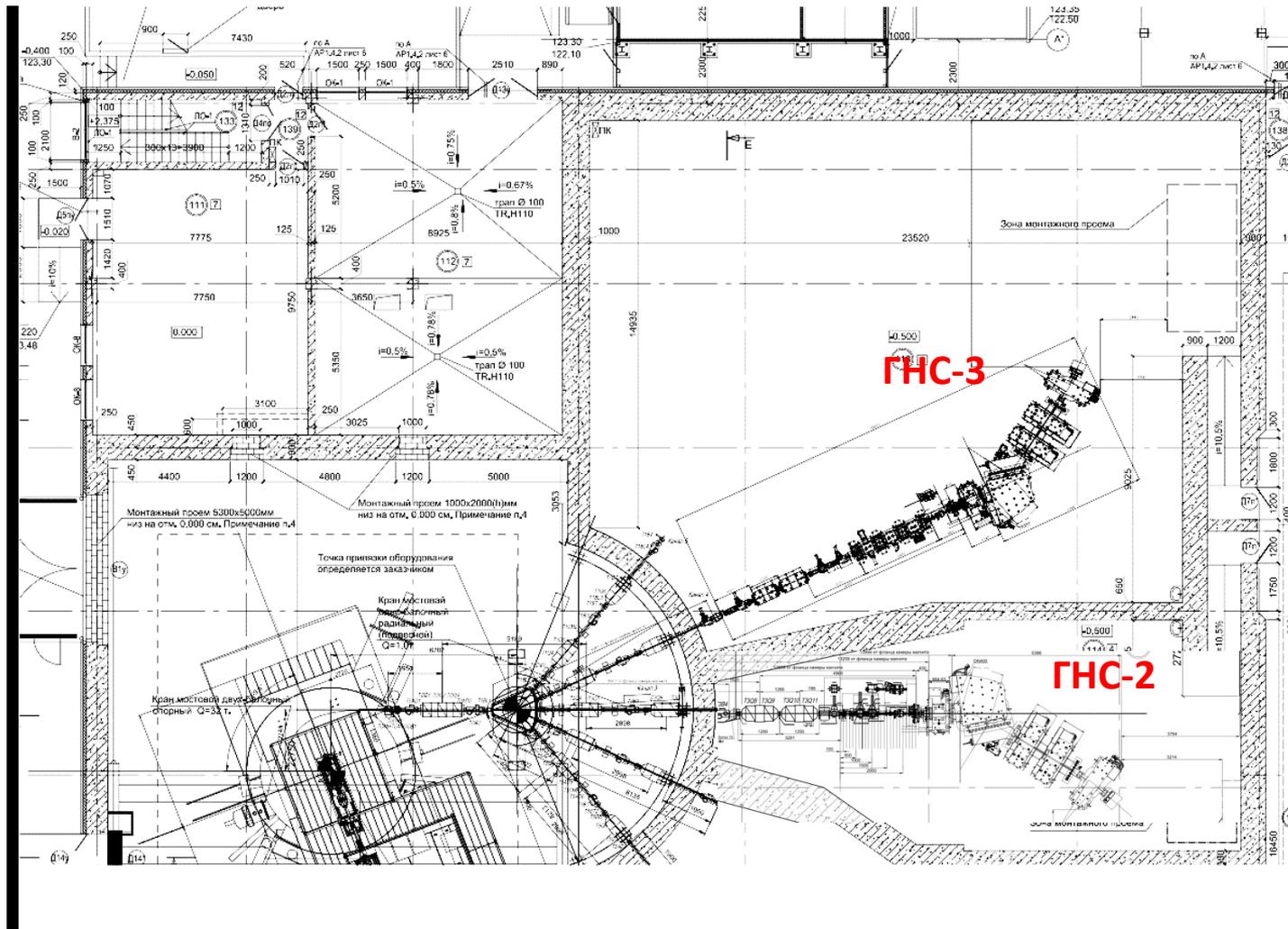
$\text{PuO}_2$	Сроки изготовления	$I, \times 10^{18}$	Ток, мкА*ч	Даты облучения
<i>700 мкг/см<sup>2</sup> ?</i>				
1,5 мкм Ti колесо Ø240 12 сегментов	январь-февраль	50 дней	3	апрель - июнь

- Запасная мишень
- Стабильные мишени для тестов на ГНС-3

Мишенная группа

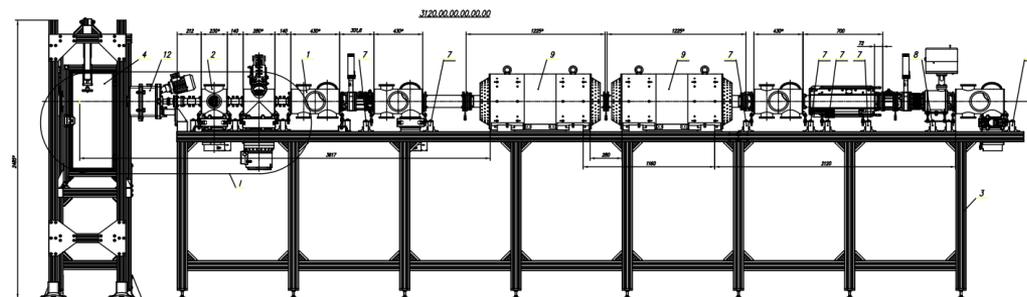
А.В. Сабельников

# Газонаполненные сепараторы ДЦ-280



# ГНС-3: GRAND (Gasfilled Recoil Analyzer and Nuclei Detector)

монтаж – Февраль 2021

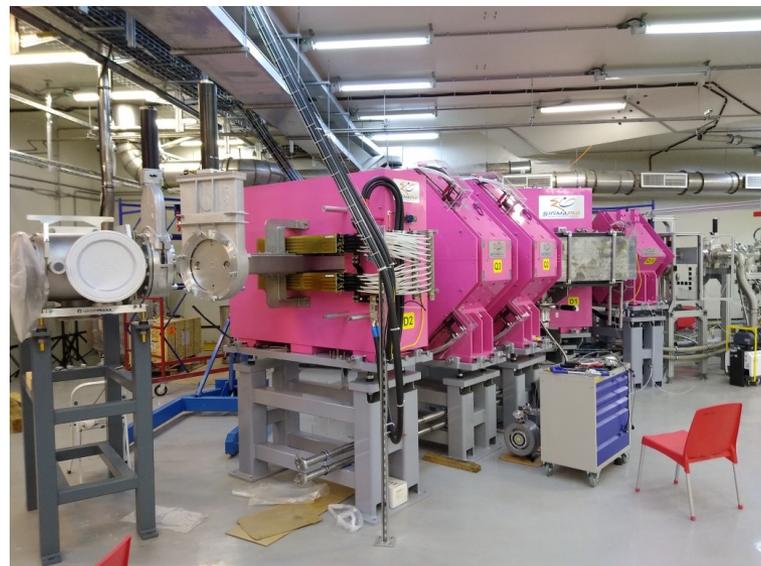
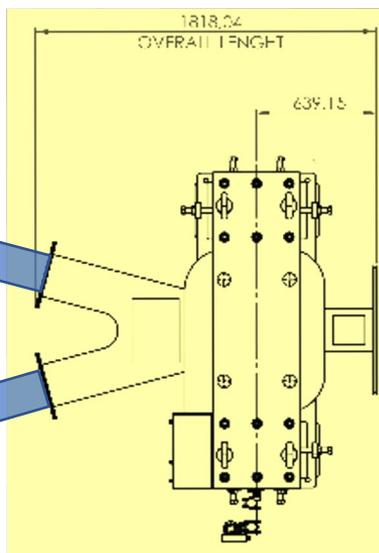


пуск - Декабрь 2021



спектроскопия

радиохимия:  
установка  
«криодетектор»



### Преимущества для химии:

- Камера сбора ядер отдачи без пучка ускоренных ТИ
- «чистые» условия для химии
- очистка фона
- Гелий
- Трансмиссия 50 %
- Два отвода

### Создание, эксплуатация и исследования:

А.Г. Попеко

А.В. Еремин

А.И. Свирихин

Сектор - реакции образования  
и структура тяжелых ядер

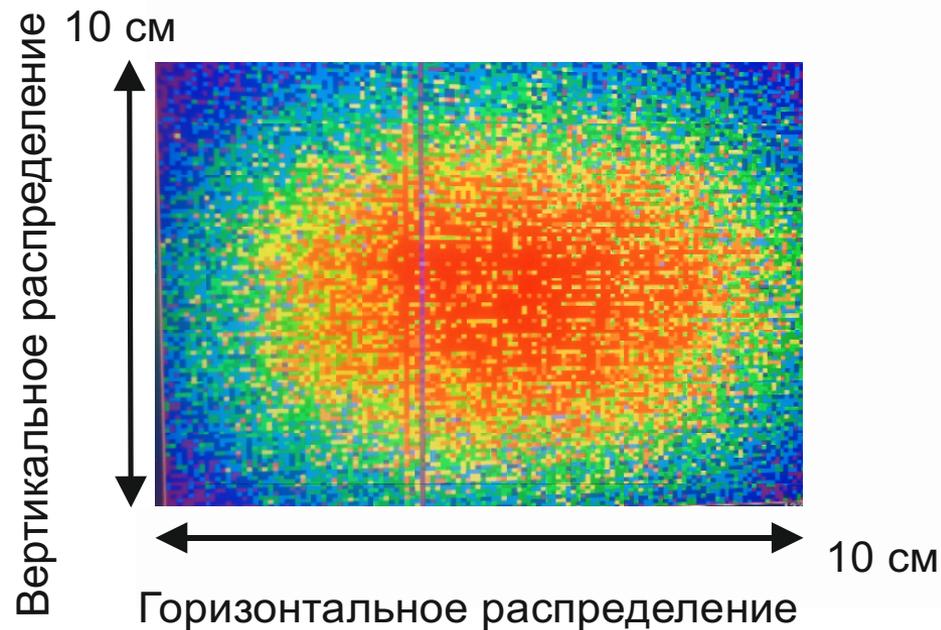
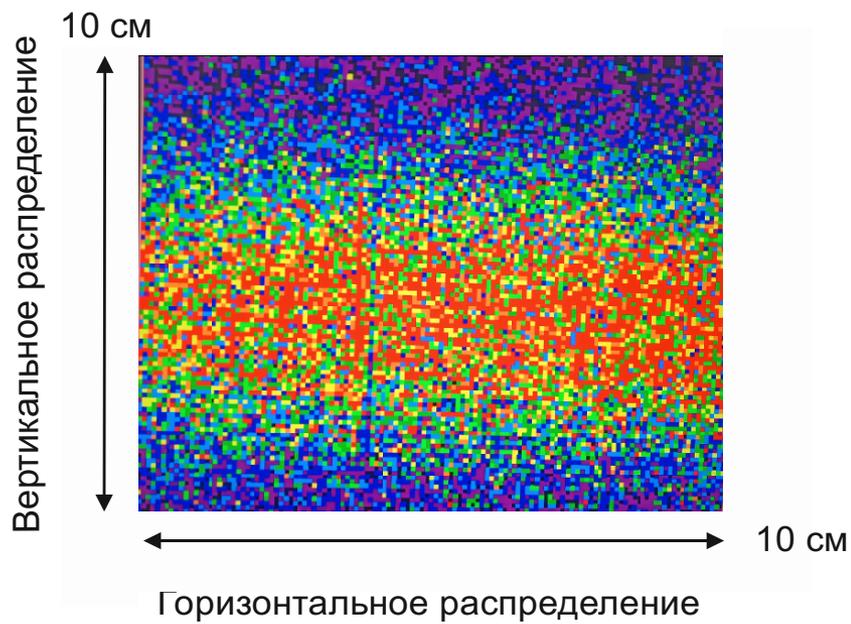
## Тестовые эксперименты



$Q_v D_{30} Q_v Q_h D_{15}$

Декабрь 2021 г.

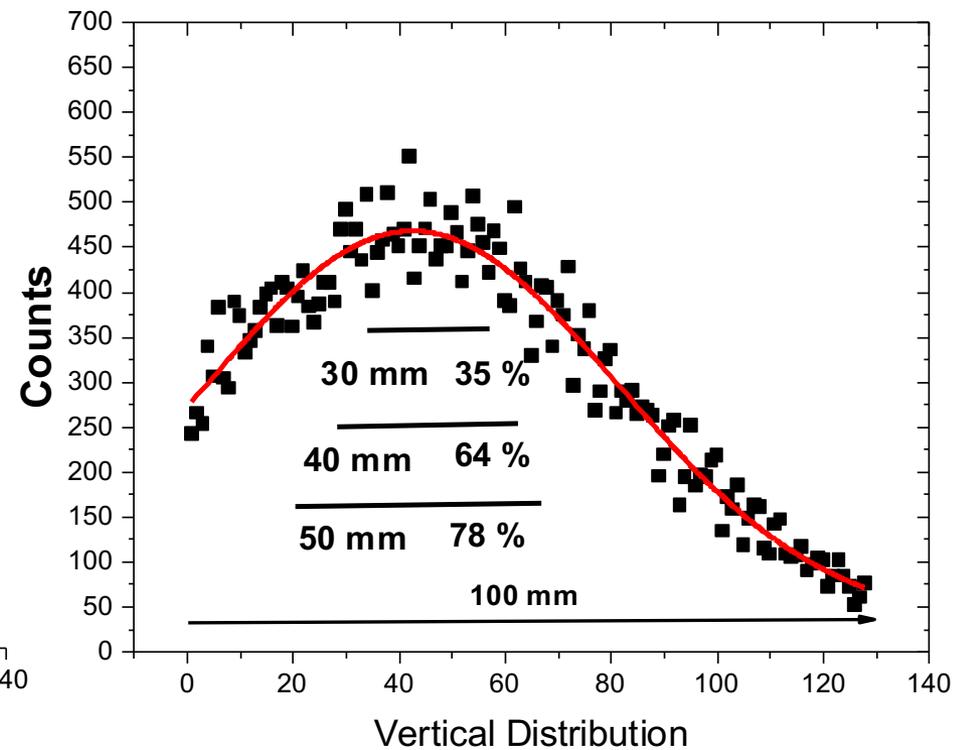
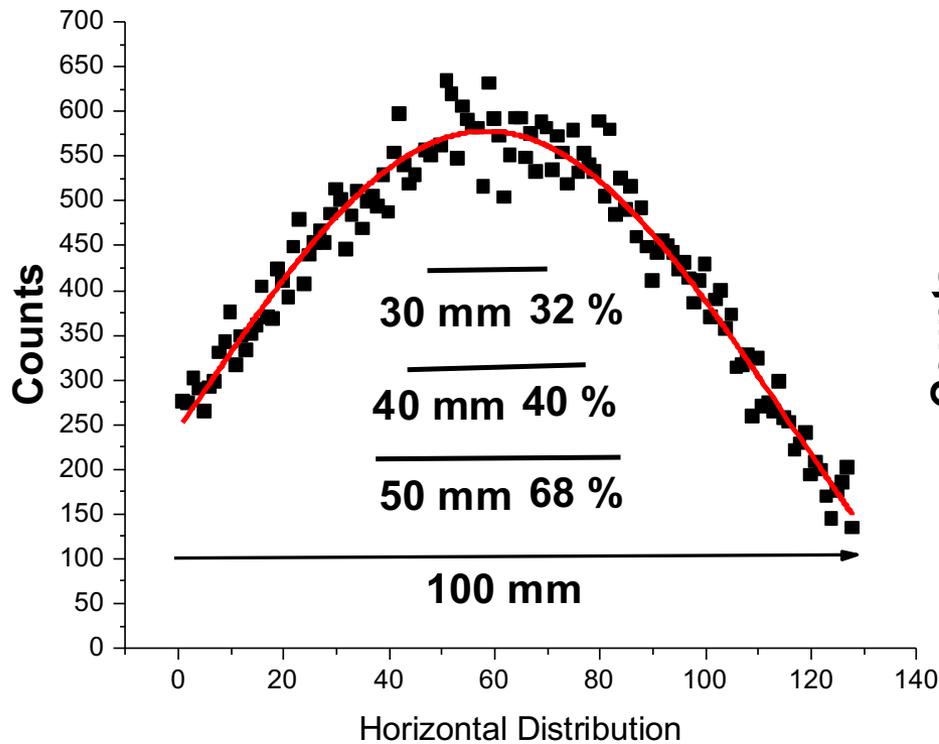
Январь 2022 г.



## Тестовые эксперименты



Апрель 2022 г.

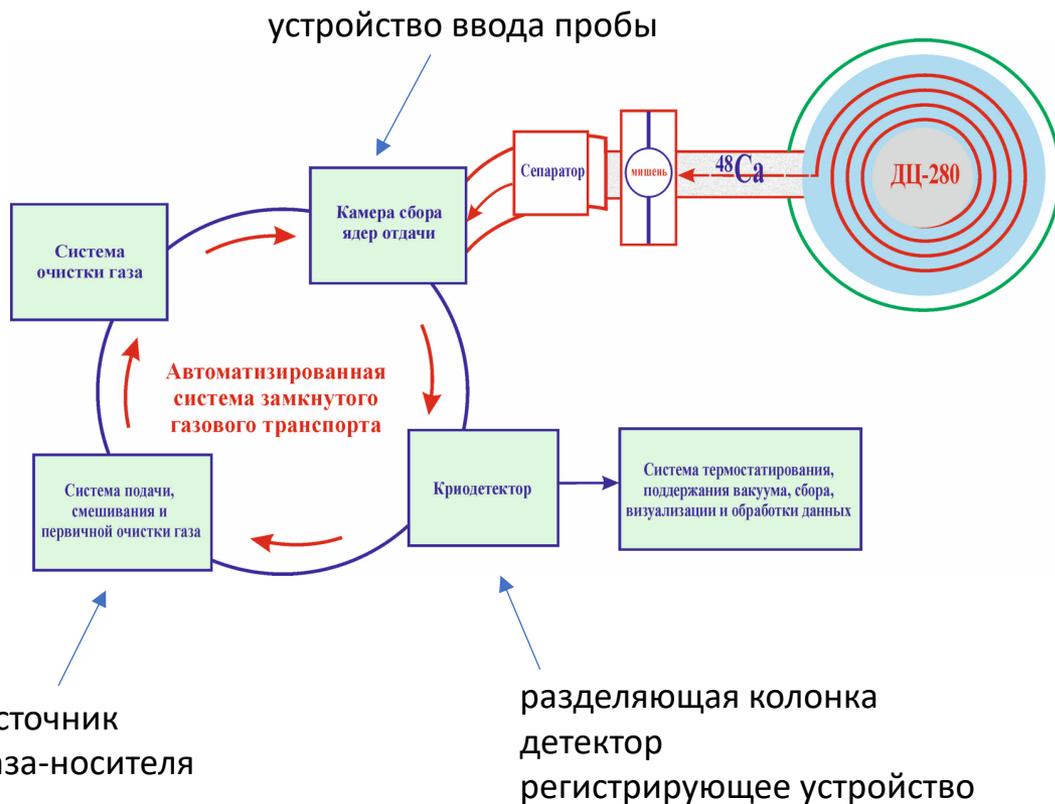


# Криогенный детектор:

установка для химических исследований на пучках тяжелых ионов

газоадсорбционная хроматография (термохроматография)

## Общая схема экспериментов



### Группа газовой химии

А.Ш. Мадумаров

А.А. Астахов

И.В. Муравьев

И. Чупраков

Л.С. Поробанюк

А.И. Гольцман

Г.А. Божиков

А.Ю. Бодров

### Сектор структуры ТЯ (GRAND)

А.И. Свирихин

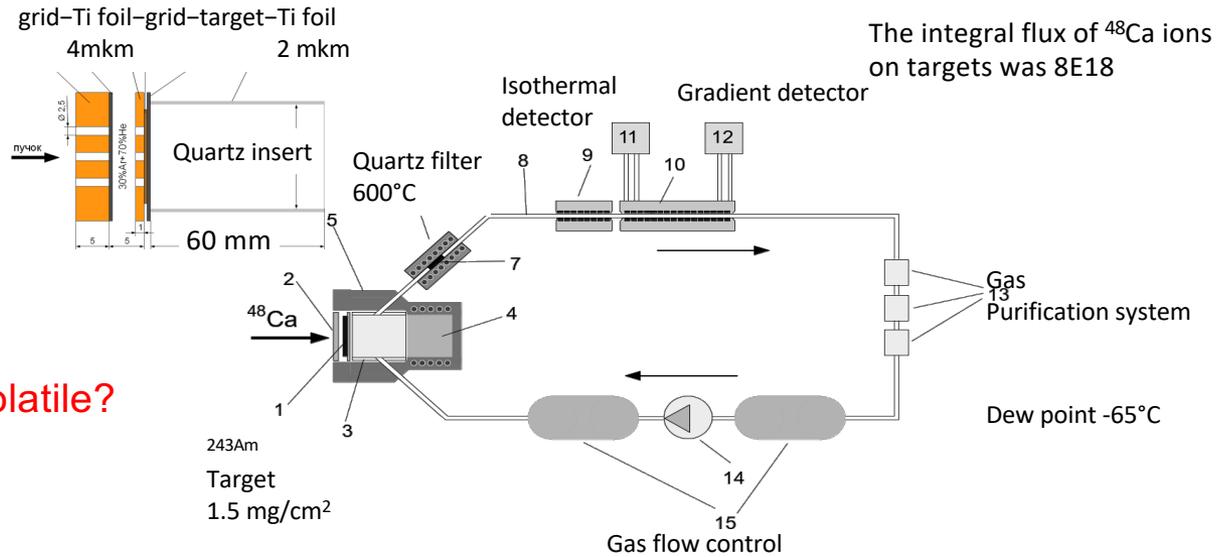
О.Н. Малышев

Ю.А. Попов



adsorption on gold

Is element 113 a volatile?



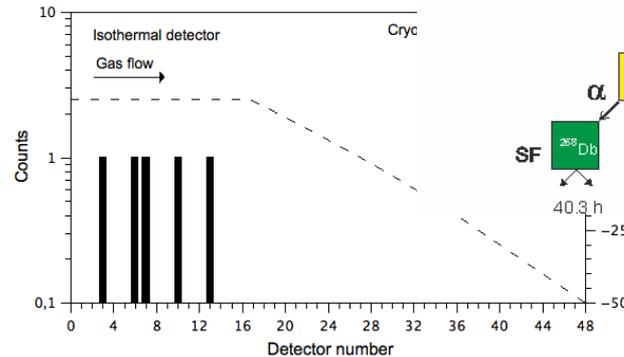
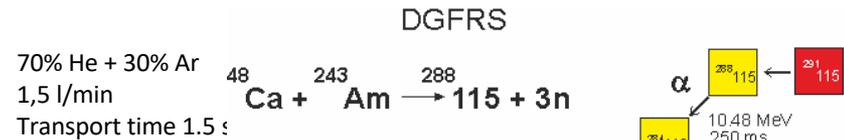
S.N. Dmitriev et al., Mendel. Comm., 24, 253 (2014)

N.V. Aksenov et al., Eur. Phys. J. A (2017) 53: 158

First experimental results of a chemical investigation of element 113 independently confirm the synthesis of the new elements 115 and 113

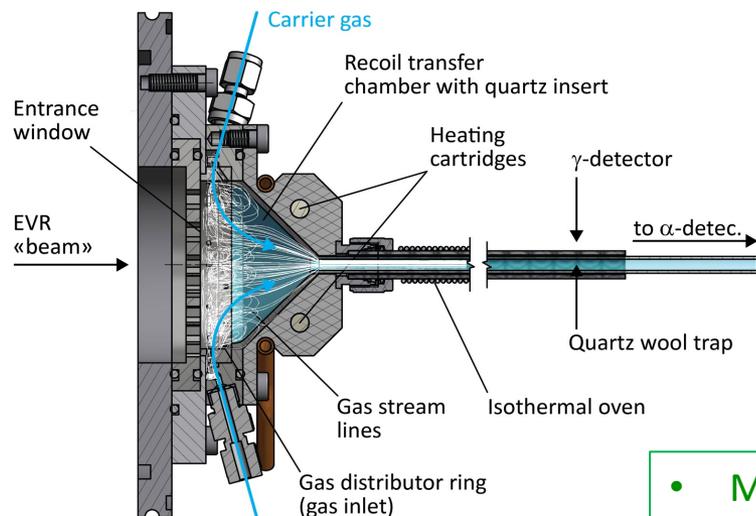
Indicate a chemical behaviour resembling a species with a high volatility, a weak interaction with inert surfaces and an enhanced reactivity towards gold surfaces

Gas Chromatography behind a pre-separator under ultrapure gas conditions showed zero events from 5 expected at low efficiency



## Камера сбора ядер отдачи

### Химия Tl (Nh) на криодетектор/SHELS



Быстродействие?

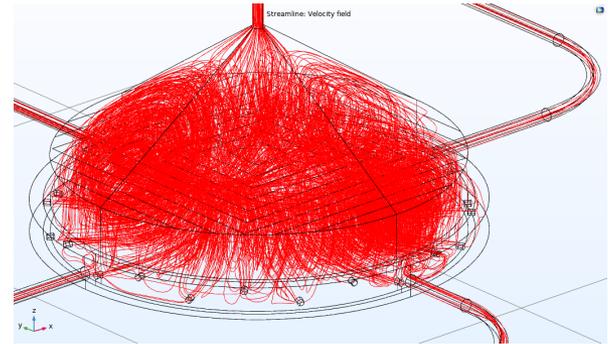
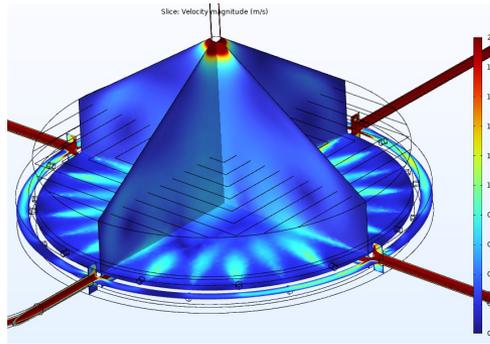
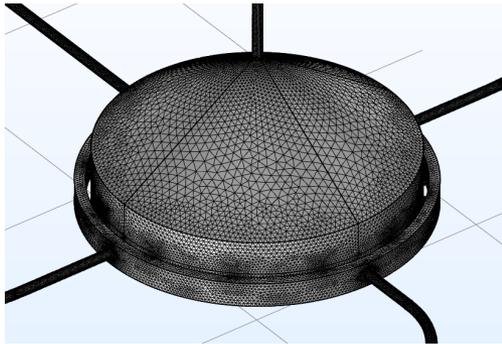
Эффективность?

Задачи

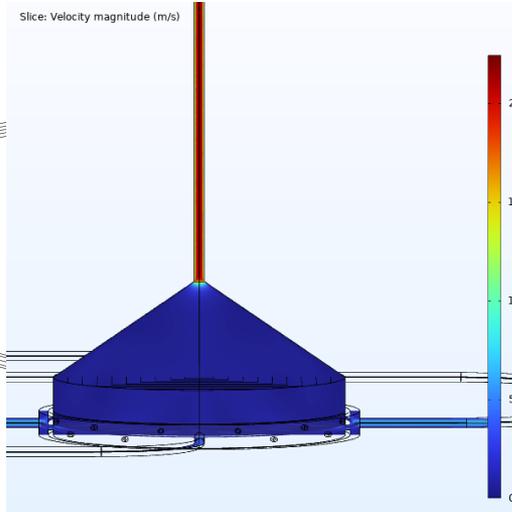
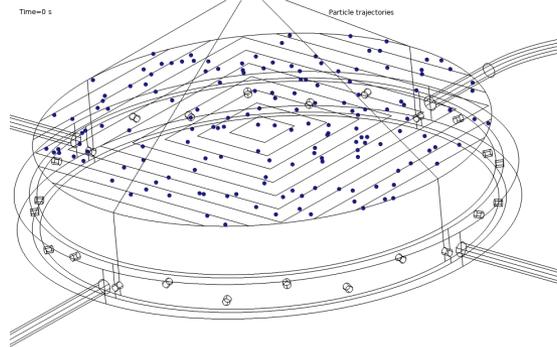
- Моделирование газовых потоков
- Оценка эффективности площадь окна vs  $T_{1/2}$  Fl-287
- Материал и размер вкладыша
- Оценка пробегов ядер отдачи
- Изготовление стоп-камеры
- Измерение пробегов ядер отдачи:
  - толщина окна
  - состав транспортного газа He/Ar
- Измерение времени выноса на пучке с изотопами Hg

# Моделирование газовых потоков в ЛЯР

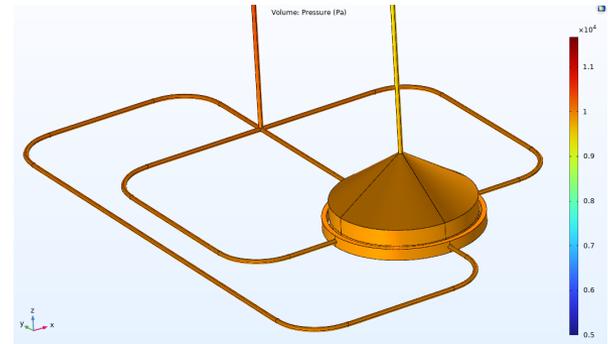
ПО COMSOL



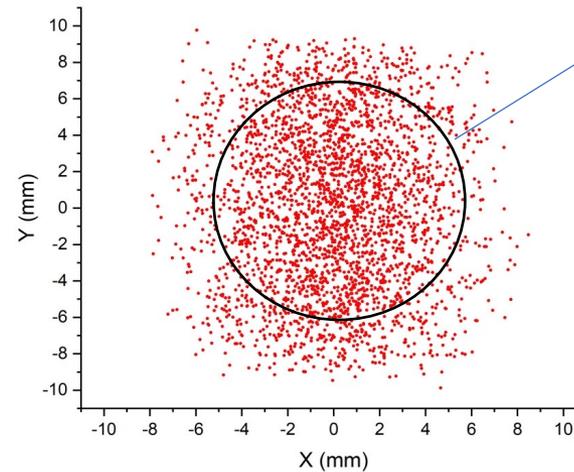
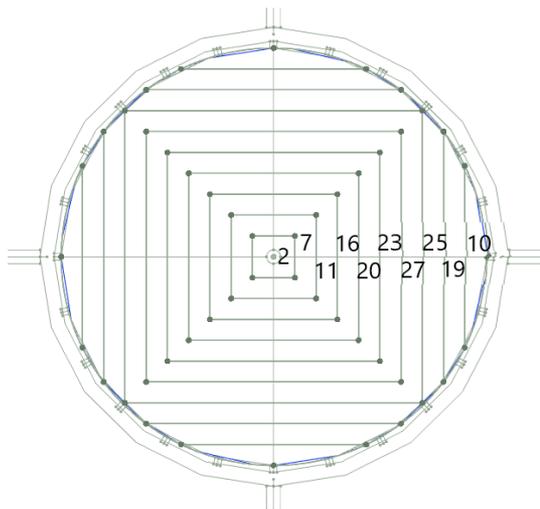
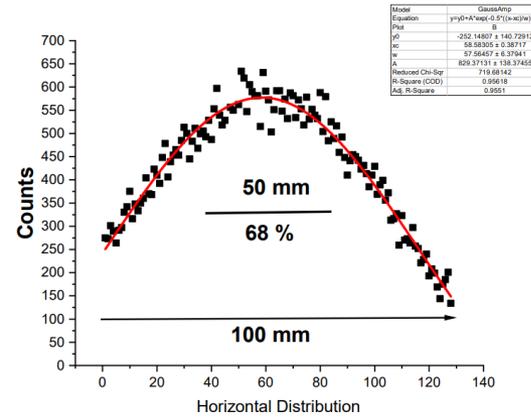
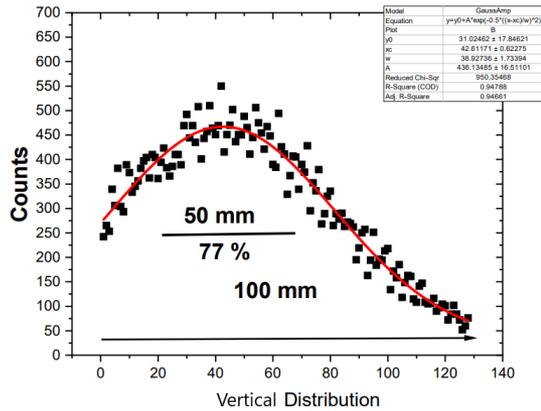
Профиль скоростей



Линии тока



# Оценка эффективности площадь окна vs $T_{1/2}$ FI-287



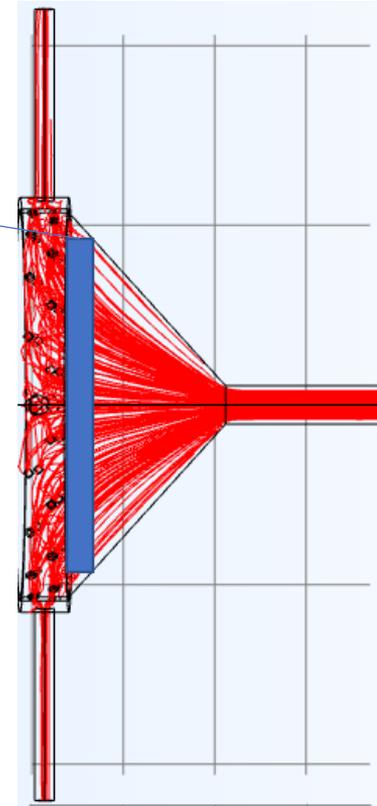
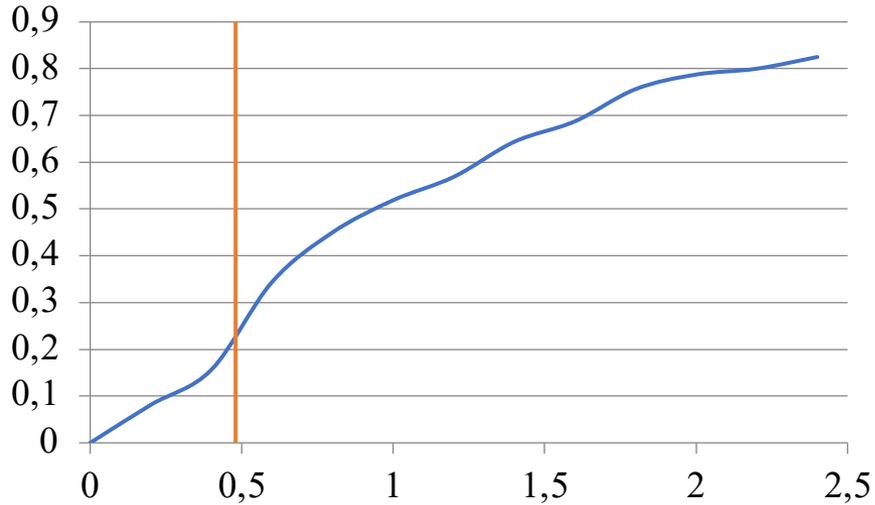
D?

## Оценка эффективности площадь окна vs $T_{1/2}$ FI-287

D, мм	t, с	$N_{\max}$	$N_0$	$\Sigma N_0$	$N(T_{1/2})$	$\Sigma N(T_{1/2})$	$\eta(N_{\max}), \%$	$\eta(T_{1/2}), \%$
30	0,2	43	15	30	11,24	17,31	0,40	0,11
	0,4		5		2,81			
	0,6		5		2,10			
	0,8		2		0,63			
	1		0		0,00			
	1,2		3		0,53			
40	0,2	79	15	52	11,24	26,07	0,33	0,16
	0,4		12		6,73			
	0,6		10		4,20			
	0,8		6		1,89			
	1		7		1,65			
	1,2		2		0,35			
50	0,2	128	11	88	8,24	36,63	0,29	0,23
	0,4		15		8,42			
	0,6		21		8,83			
	0,8		23		7,24			
	1		12		2,83			
	1,2		6		1,06			
60	0,2	160	15	94	11,24	43,12	0,27	0,27
	0,4		25		14,03			
	0,6		23		9,67			
	0,8		14		4,41			
	1		13		3,07			
	1,2		4		0,71			

# Торможение / вынос / турбулентность

10-15 мм (~5 мм) – оптимальная глубина

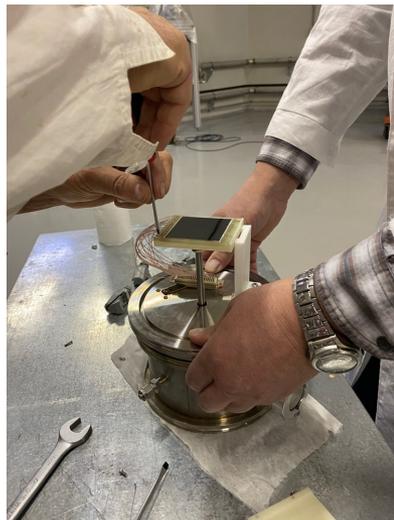


COMSOL Multiphysics

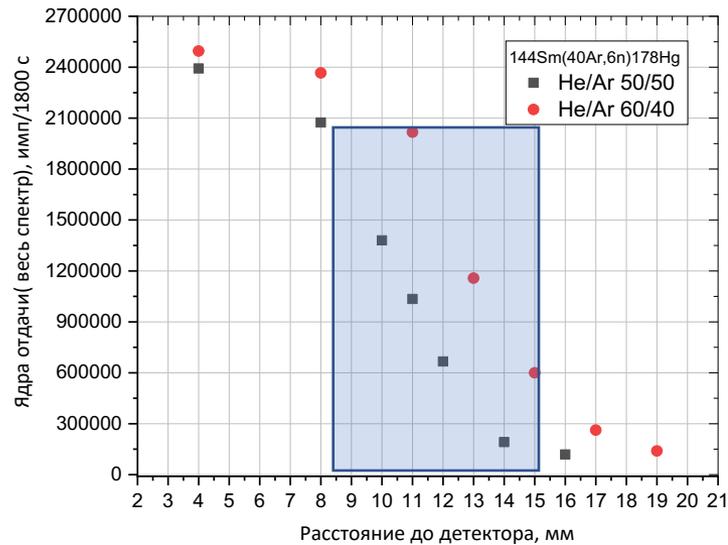
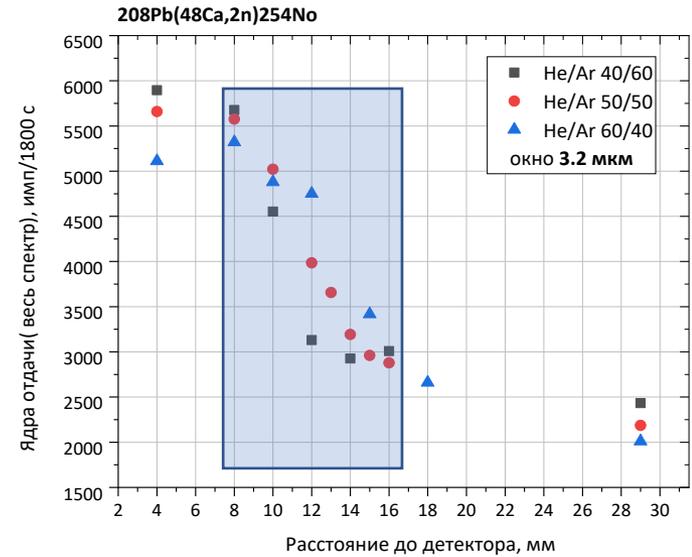
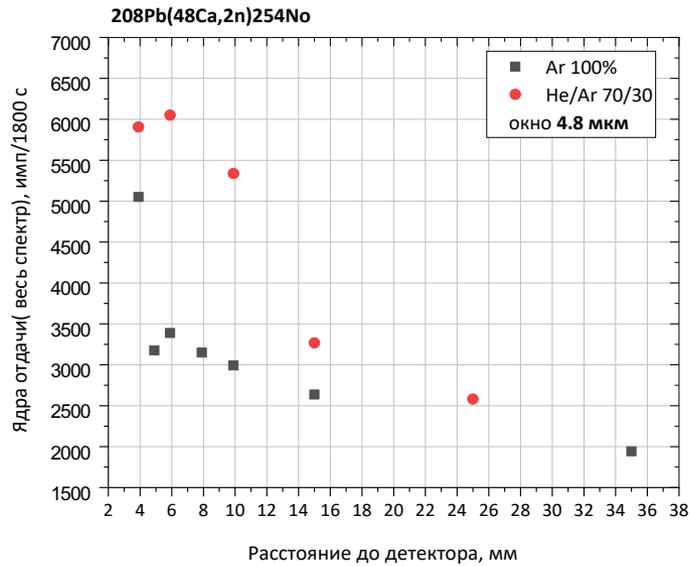
# Измерение пробегов ядер отдачи Hg, Ra, No и времени транспорта

## 2 тестовых сеанса в июне и ноябре

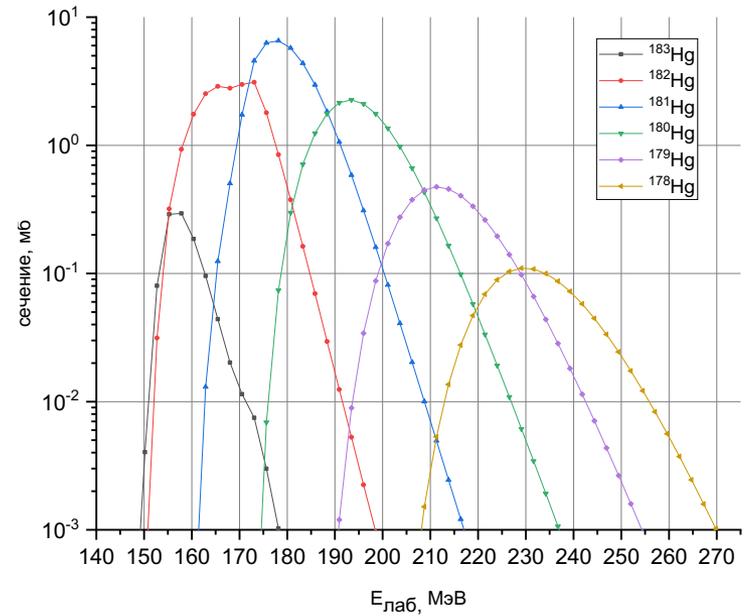
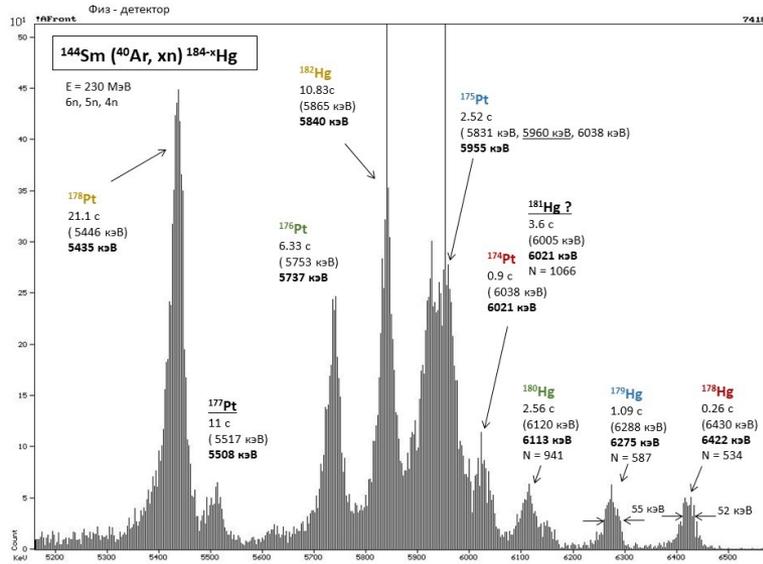
- $^{40}\text{Ar}$ ,  $^{48}\text{Ca}$  beams
- $\text{Er}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Sm}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Yb}_2\text{O}_3$  targets  $\sim 400 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ,  $^{208}\text{Pb}$  target ( $150 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ )
- GRAND



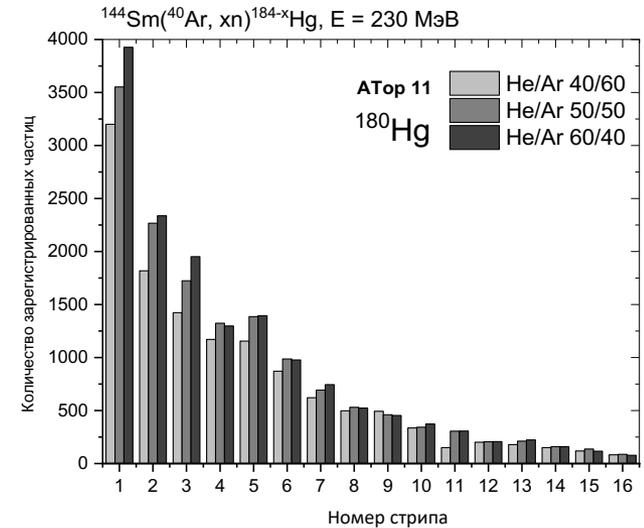
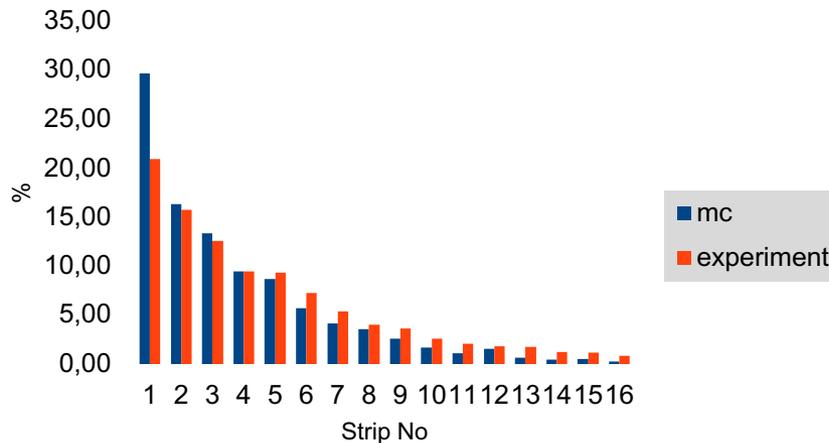
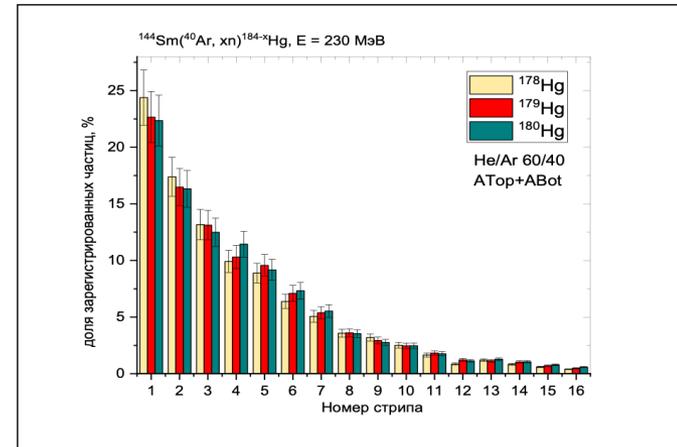
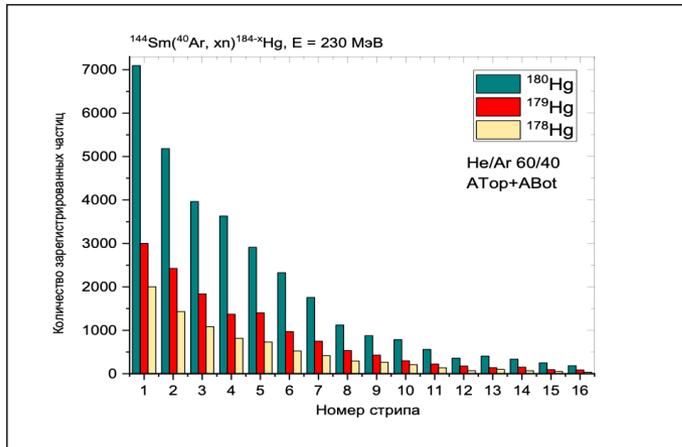
# Измерение пробегов



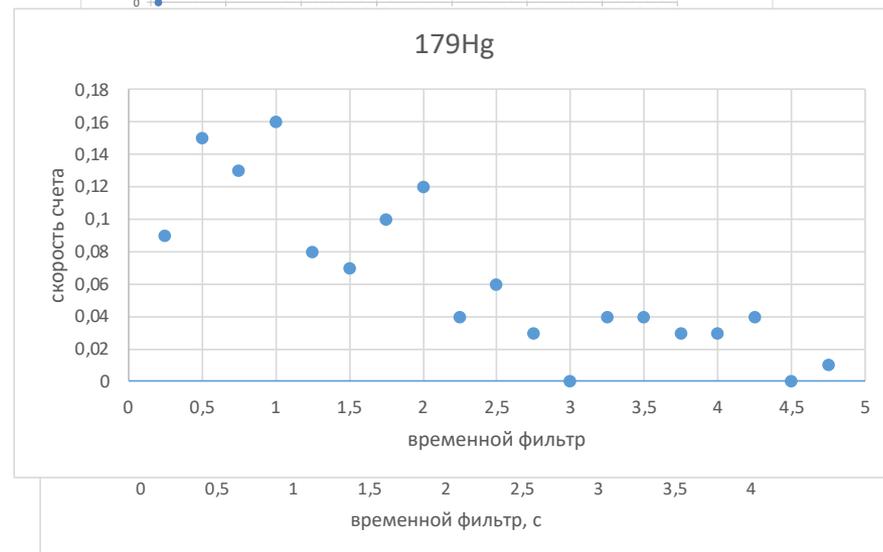
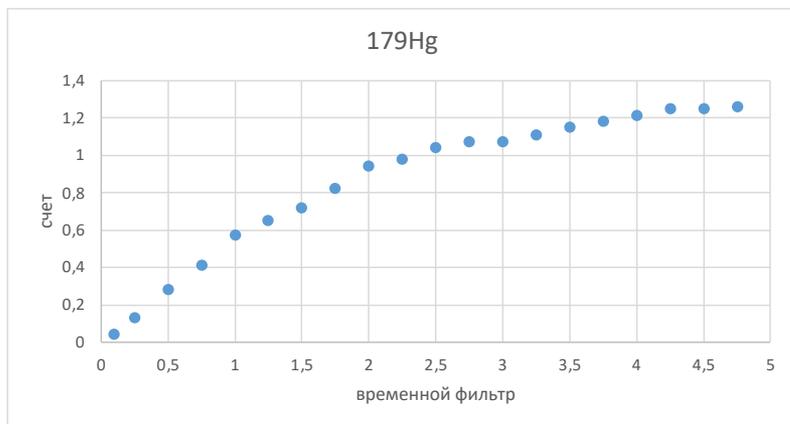
# Измерение времени транспорта на пучке с изотопами Hg



# Измерение времени транспорта на пучке с изотопами Hg



2 варианта модели адсорбции  
учитывающие условия эксперимента  
А. Астахов, Г. Божиков



Время первого фронта 0.25 с – 10 %  
 Среднее время транспорта 1 с – 25 %  
 Полное время 2.5 с – максимальная эффективность 80 %

## Ход эксперимента и первые результаты



Pu-242 729 мкг/см<sup>2</sup>

Rec_escape(287Fl)_283Cn_fission.	3n	file_48CA42PU28.000/48CA42PU28.013	
	strips	energy	dT
Recoil	68:15	19857 keV	1.002 s
Alpha1		10034 keV	12.84 s
Alpha2		9546 keV	
Fission		3791 ch	97 ms

Rec_287Fl_283Cn_fission.	3n	file_48CA42PU28.000/48CA42PU28.017	
	strips	energy	dT
Recoil	38:51	20971 keV	704.6 msec
Alpha1		10025 keV	660.7 msec
Alpha2		9535 keV	
Fission		2887 ch	485 msec

**Интеграл:  $1.04 \cdot 10^{18}$  частиц**

