

В. Н. Пантелеев

## **Исследование нейтроноизбыточных и нейтронодефицитных ядер, удаленных от полосы $\beta$ -стабильности, 2008 г**

---

### **Основные направления работ в 2008 году:**

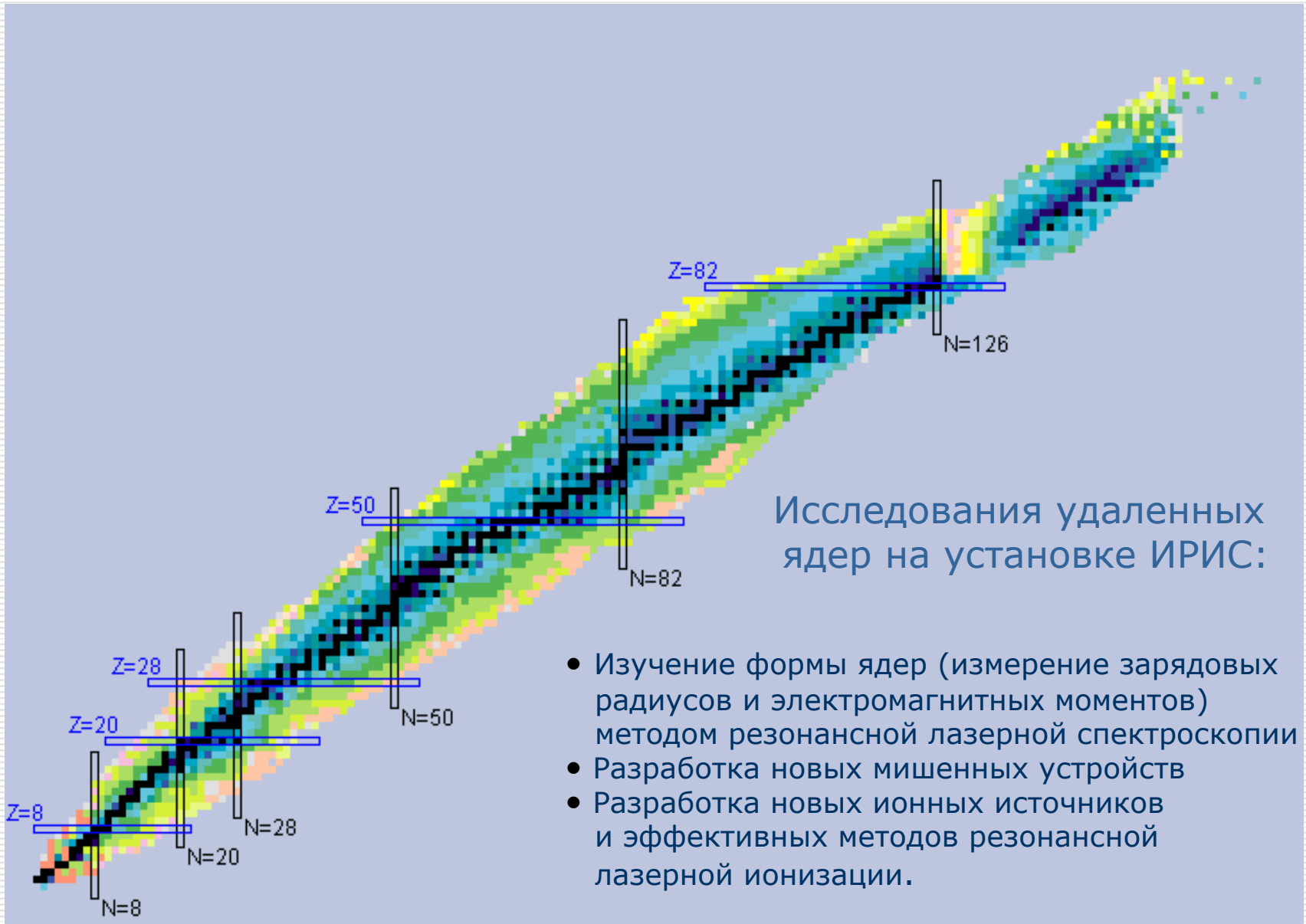
1. Изготовление и запуск второй очереди (ультрафиолетовый диапазон излучения) универсальной лазерной ионизационно-спектроскопической системы (УЛИСС) для резонансной ионизации и лазерно-спектроскопических исследований короткоживущих радионуклидов. Изготовление системы транспортировки лазерных лучей в ультрафиолетовом диапазоне к мишенно-ионному устройству установки ИРИС.
2. On-line исследования UC мишенного устройства с массой урана 690 граммов.
3. Изучение формы ядер изотопов  $^{193-204}\text{Po}$  ( $Z=84$ ) на установке ISOLDE с использованием лазерного источника.
4. Разработка и on-line тесты прототипа мишенно-ионного устройства для масс-сепаратора ИРИНа (Исследование Радиоактивных Изотопов на НейтронАх).
5. Подготовка нового МНТЦ проекта
6. Проект "Радиоактивные пучки" – программа Президиума РАН "Фундаментальные науки – медицине"

---

1.Изготовление и запуск универсальной лазерной ионизационно-спектроскопической системы (УЛИСС) для резонансной ионизации и лазерно-спектроскопических исследований короткоживущих радионуклидов.

---

# Карта нуклидов



**Область нейтроноизбыточных ядер в окрестности магического числа нейтронов  $N=50$**   
(Ge, Ga, Zn, Cu и Ni)



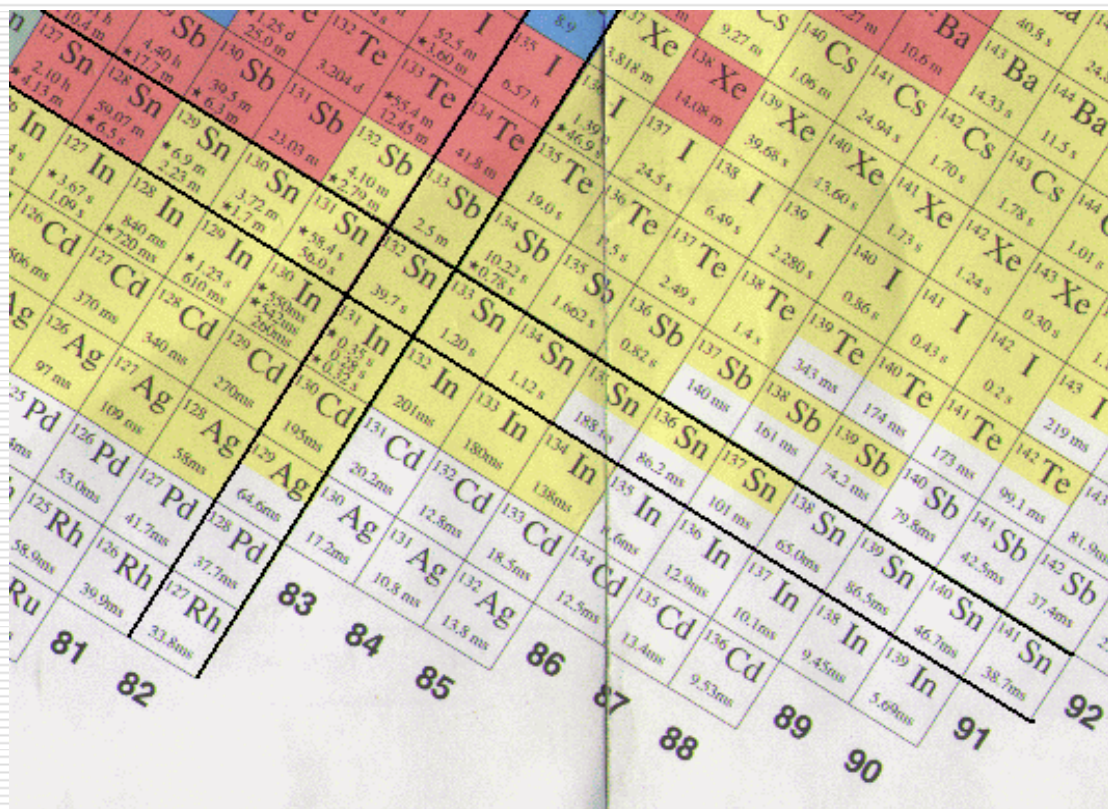
Выход  $^{78}\text{Zn}$

ИРИС  $1 \times 10^5$

ISOLDE  $1 \times 10^6$

В этой области ( $Z=28$ ,  $N=50$ ) для исследования оболочечного эффекта наибольший интерес представляют изотопические цепочки Ge, Ga, Zn, Cu и Ni

## Область нейтроноизбыточных ядер, прилегающая к дважды магическому $^{132}\text{Sn}$



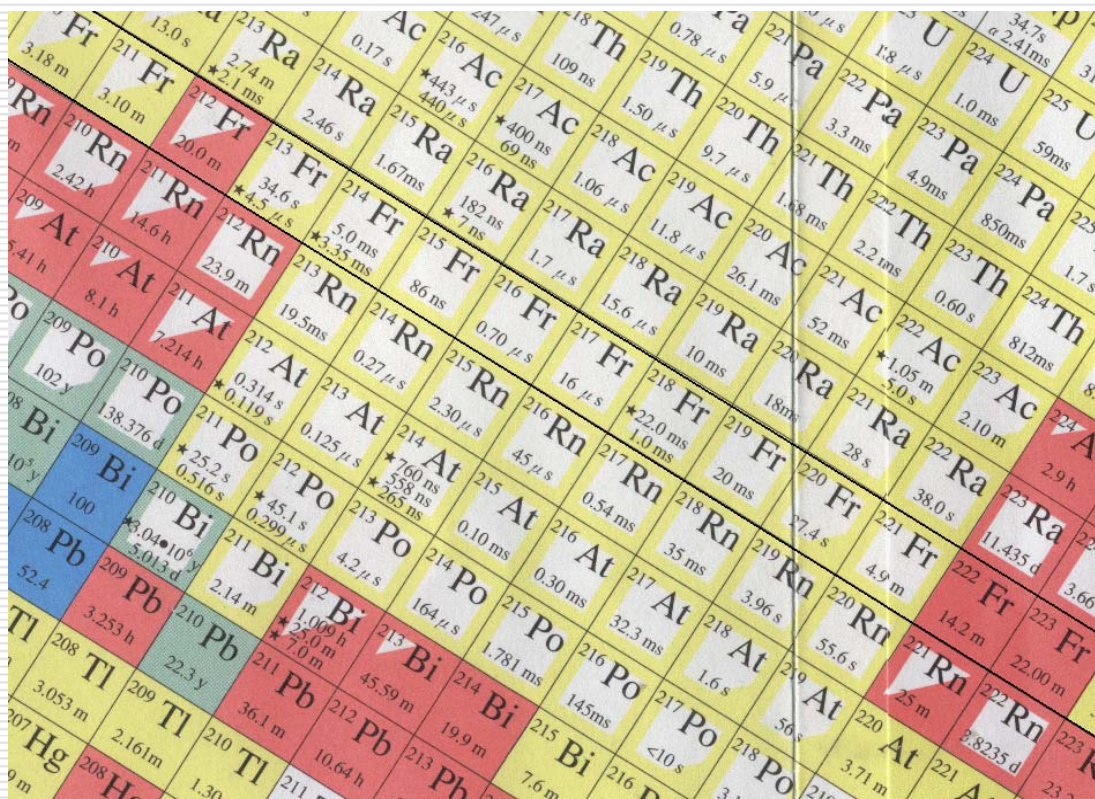
Выход  $^{132}\text{Sn}$

ИРИС  $5 \times 10^6$

ISOLDE  $8 \times 10^7$

Наиболее интересные объекты исследований – Te, Sb, Sn ( $Z=50$ ), In, Cd и Ag с числом нейтронов близким к  $N=82$

## Область тяжелых $\alpha$ -распадчиков



Выходы  $^{219}\text{Fr}$

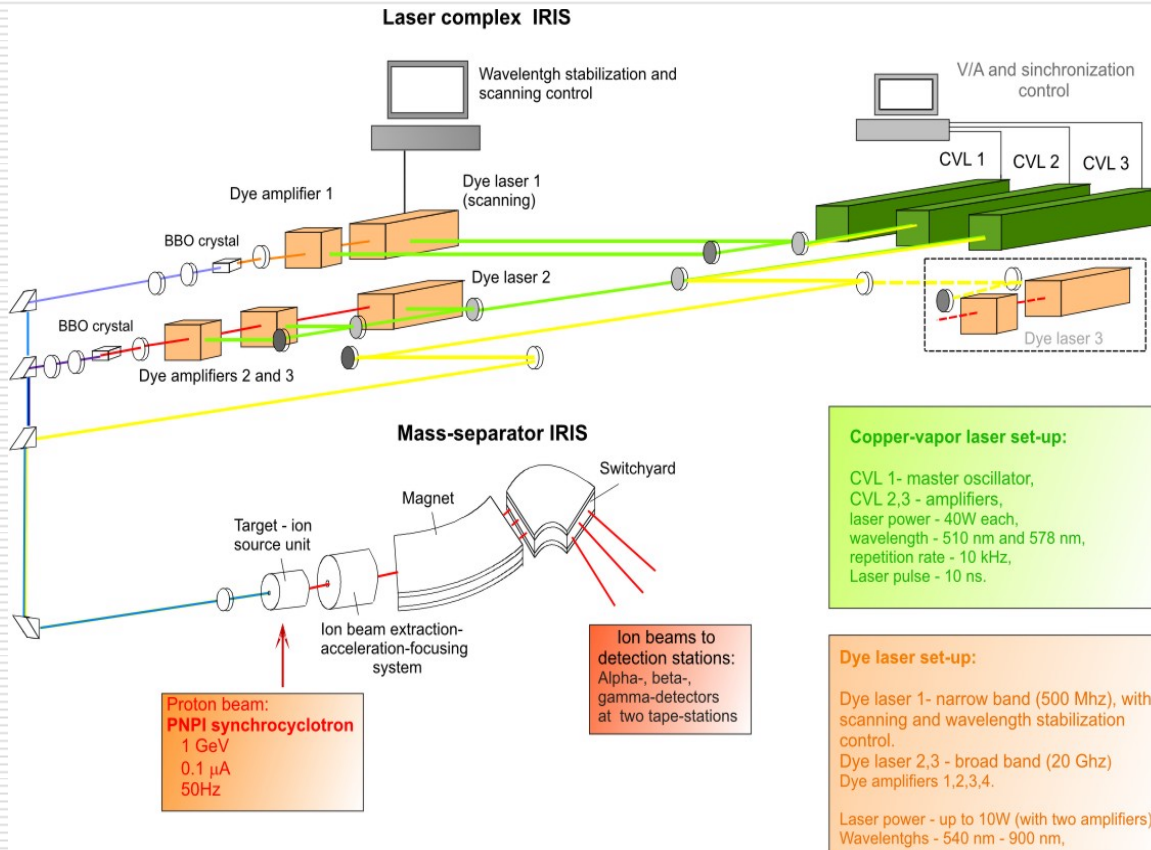
ИРИС  $1.2 \times 10^5$

ISOLDE  $9 \times 10^3$

Падение периодов полураспада более чем на три порядка у изотопов на максимуме сечения их образования в окрестности  $N=126$

( $^{219}\text{Fr}$ ,  $T_{1/2}=20 \text{ ms}$ ;  $^{220}\text{Fr}$   $T_{1/2}=27,4 \text{ s}$ )  
 ( $^{220}\text{Ra}$ ,  $T_{1/2}=18\text{ms}$ ;  $^{221}\text{Ra}$ ,  $T_{1/2}=28\text{s}$ )  
 ( $^{221}\text{Ac}$ ,  $T_{1/2}=52\text{ms}$ ;  $^{222}\text{Ac}$ ,  $T_{1/2}=5\text{s}$ )

# Схема Универсальной Лазерно-Ионизационной Спектроскопической Системы (УЛИСС), создаваемой на ИРИСе

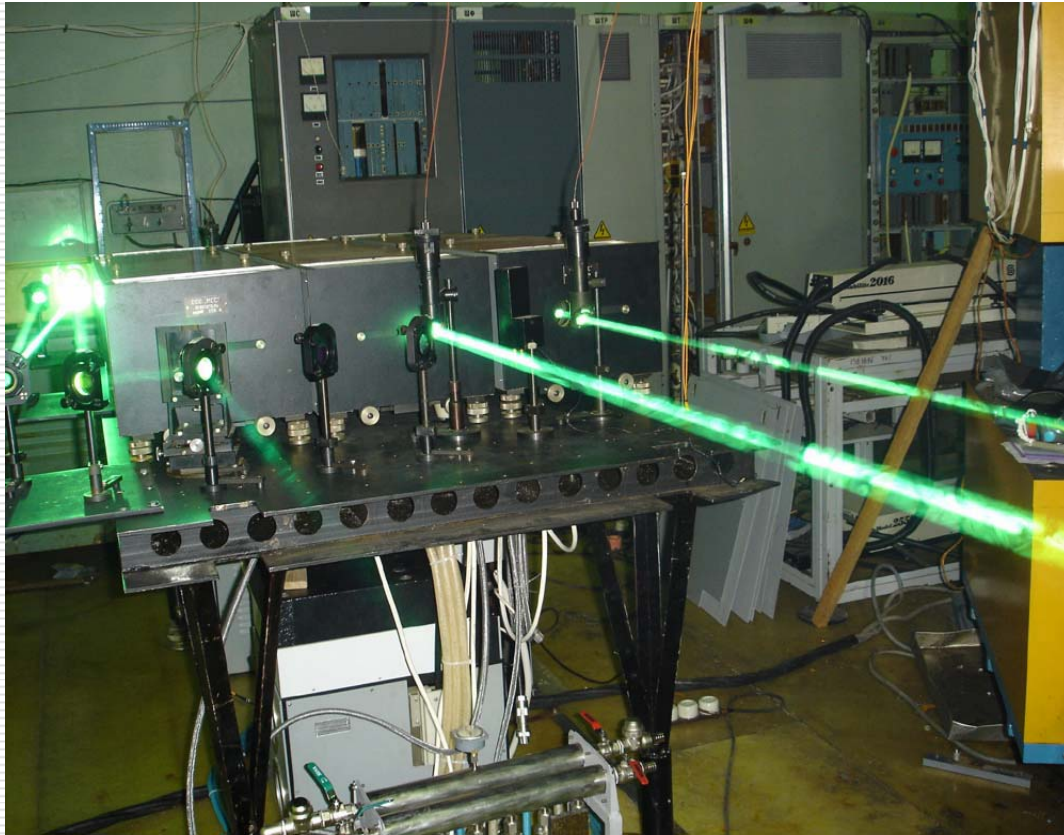


**Изготовлено и запущено в экспериментальном зале ИРИСа:**

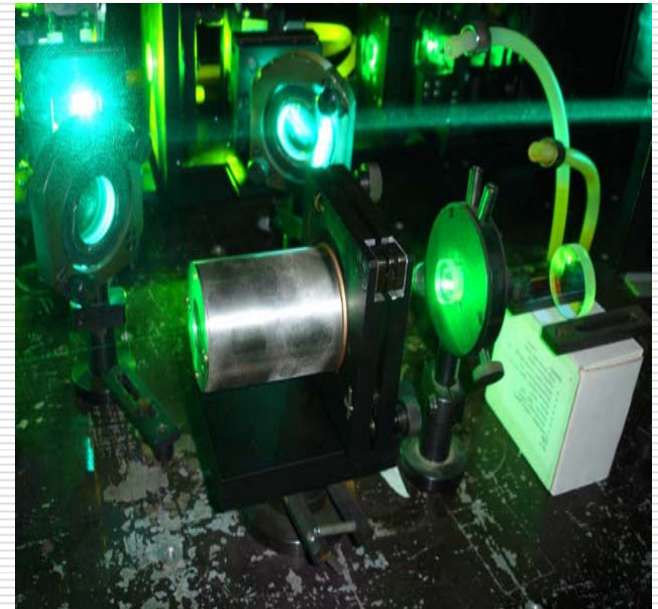
- Новая система лазеров на парах меди (2.3 млн. руб)**
  - Лазер на красителе + умножитель частоты (один канал излучения в области ультрафиолета) (0.9 млн руб)**
- Для проведения on-line экспериментов по лазерной спектроскопии Ga, Al, Ca, Ag, In, Tl еще нужно изготовить: систему сканирования частоты и систему транспортировки ультра- фиолетового излучения (1.2 млн руб)**

**Для обеспечения возможности резонансно ионизовать атомы еще ~25 элементов Периодической системы + 4 млн руб**

## *Новая лазерная установка*



Медные лазеры накачки

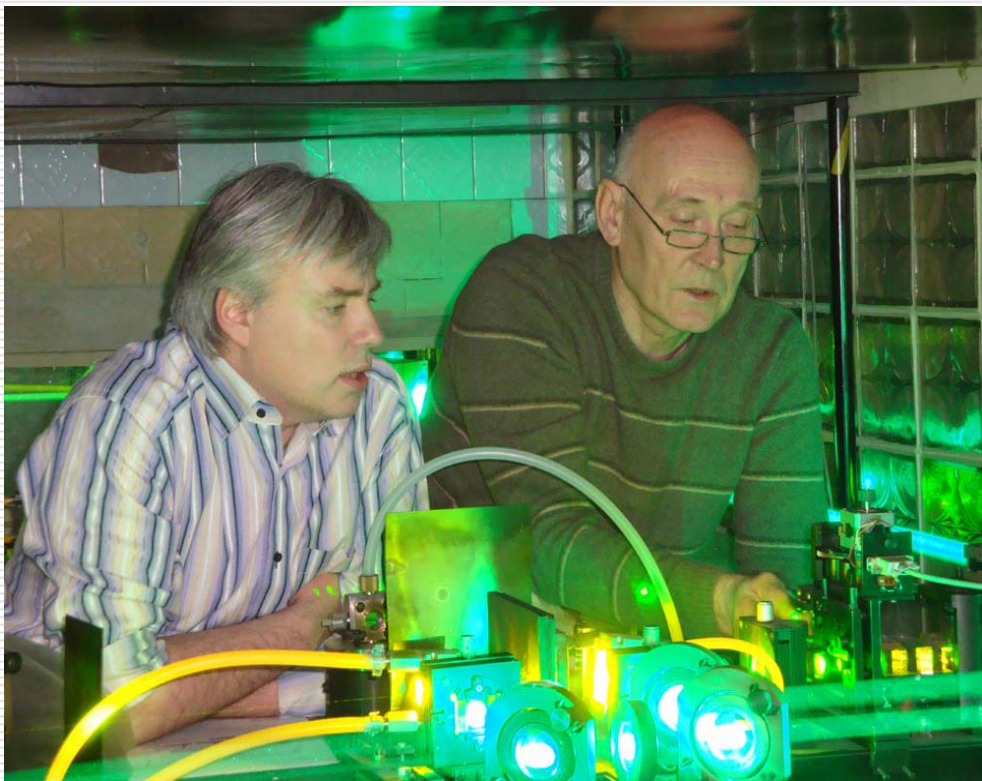


Кристалл удвоения частоты



## *Новая лазерная установка*

Настройка UV канала



**Состояние дел на настоящий момент:  
первый этап создания УЛИСС  
завершен, в 2009 планируется запуск с  
масс-сепаратором ИРИС**

---

2. On-line исследования UC мишенного устройства с массой урана **690** граммов в сотрудничестве с лабораториями LNL (Италия), ISOLDE (CERN)

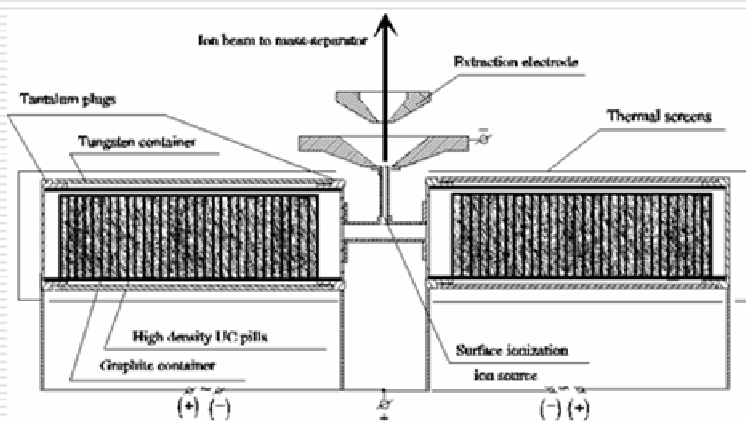
*(Самые массивные мишени из карбида урана, используемые в настоящее время:*

*ИРИС - **93** грамма*

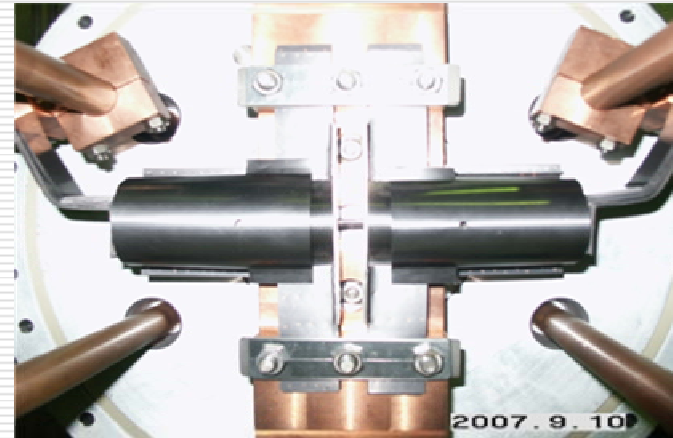
*ISOLDE - **85** граммов)*

---

## Big mass target

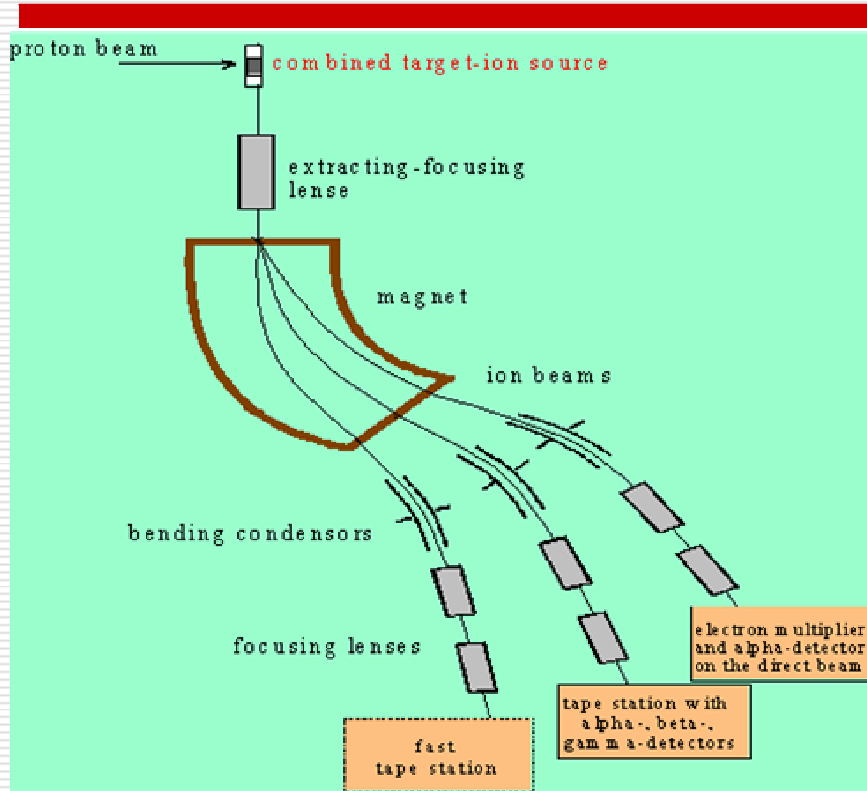


*57 pellets, 25 mm in diameter, 2 mm thickness. Grain size 5  $\mu\text{m}$ . Uranium mass 700 g. High temperature tungsten surface ionizer. The target was normalized at the test bench at  $T=1800\text{ }^{\circ}\text{C}$ .*



*The target unit construction allows to combine in with the electron beam-plasma ion source as well.*

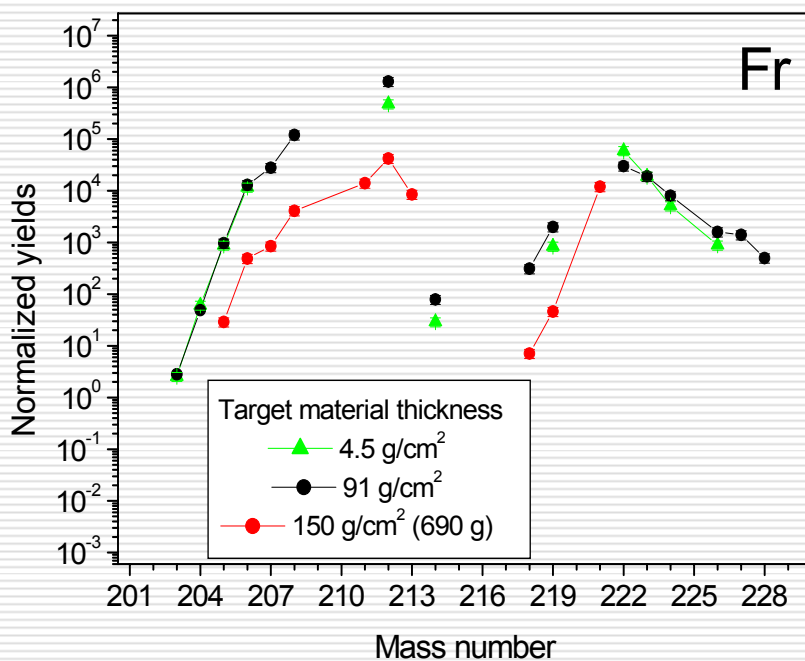
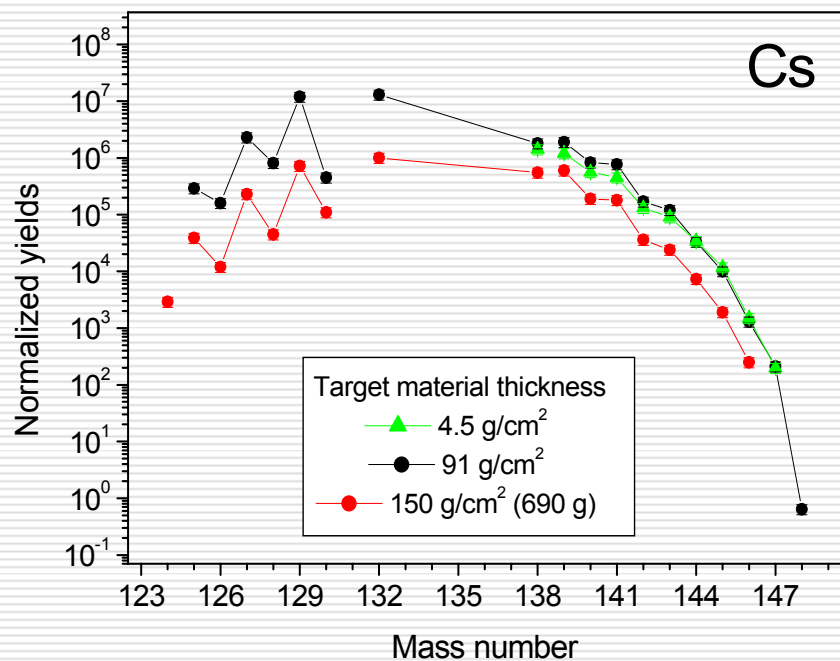
# IRIS facility (1 GeV, 0.1 $\mu\text{A}$ protons)



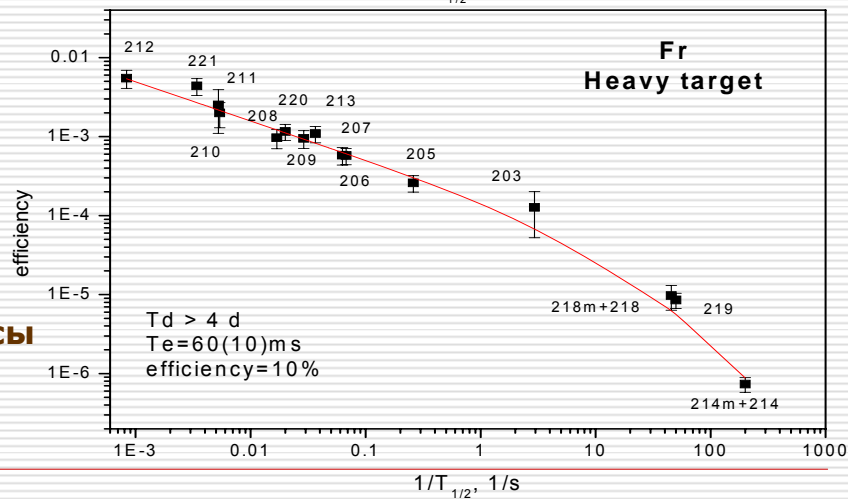
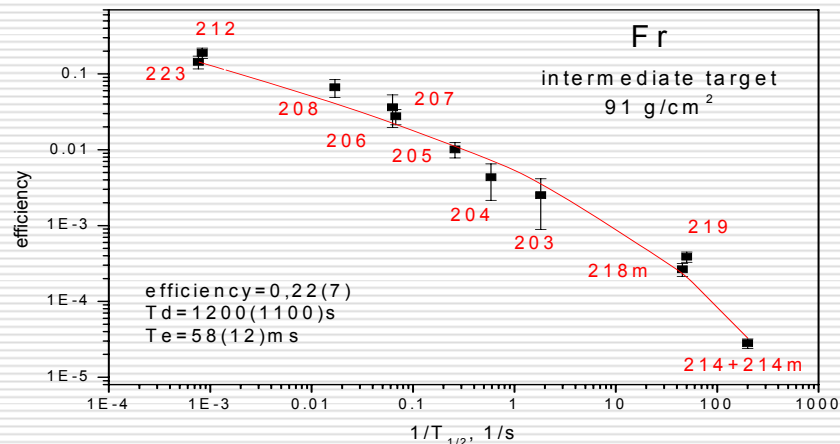
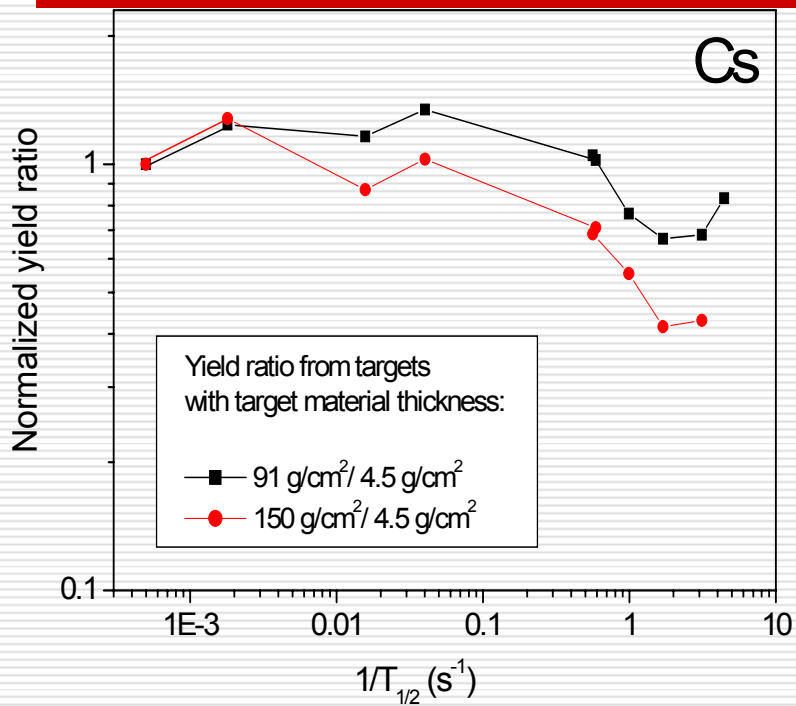
EURISOL review panel, 15.11.07

V.N. Panteleev

## Нормированные выходы изотопов Cs и Fr из мишеней различной массы (нормировка на 1г/см<sup>2</sup> и 0.1 μА)



## Сравнение быстродействия и эффективности мишеней с массой 93 и 690 г.



**Вывод:** при увеличении массы мишени от 4.5 до 93 г выходы Cs и Fr растут пропорционально массе мишенного вещества. При увеличении массы до 700 г рост выходов существенно уменьшается из-за значительного замедления процесса диффузии

---

3. Изучение формы ядер изотопов  $^{193-204}\text{Po}$  ( $Z=84$ )  
на установке ISOLDE с использованием лазерного источника.

---

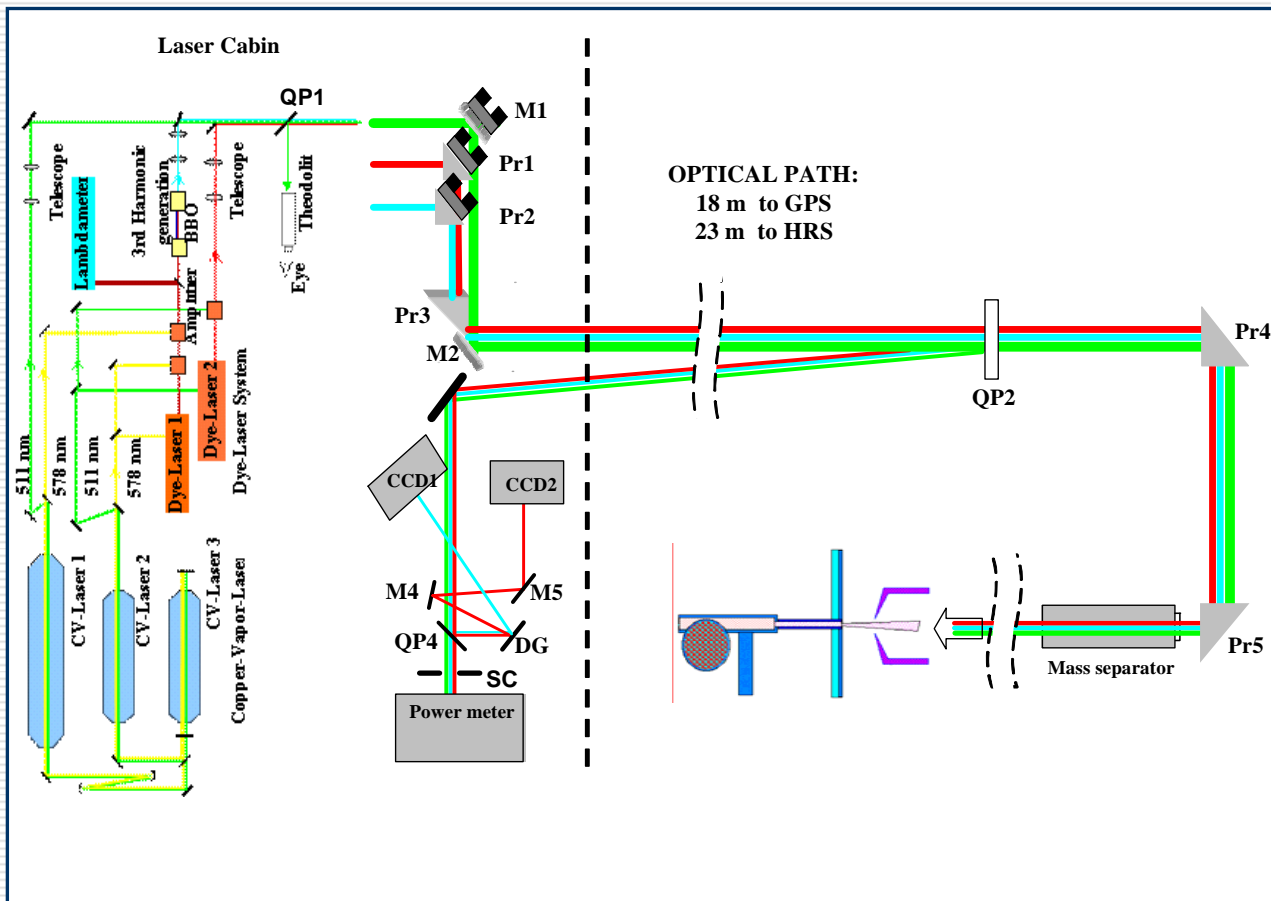
## **Мотивация выбора области нейтронодефицитных изотопов в области свинца для лазерно-спектроскопических исследований**

---

- 1. Близость к Hg ( $Z=80$ ), где впервые была обнаружена изомерия формы и резкое изменение деформации от поперечной к продольной ( $^{187}\text{Hg}$ - $^{185}\text{Hg}$ ).
  - 2. Обнаружение в ядерно-спектроскопических экспериментах у изотопов свинца триплета низко-лежащих  $0^+$  состояний, которые были интерпретированы, как сферическое (основное состояние) и состояния с продольной и поперечной деформацией.
  - 3. Исследование влияния замкнутой протонной оболочки ( $Z=82$ ) на стабилизацию формы ядра в основном состоянии.
  - 4. Большое количество теоретических работ посвященных структуре ядер этой области.
-



# Лазерная установка ISOLDE (лазерный ионный источник + лазерная спектроскопия в лазерном ионном источнике)



**Система обеспечивает возможность селективной ионизации атомов изотопов ~30 элементов Периодической системы**

## Лазерная спектроскопия в лазерном ионном источнике на ISOLDE

Полоний: успешно проведен эксперимент IS456

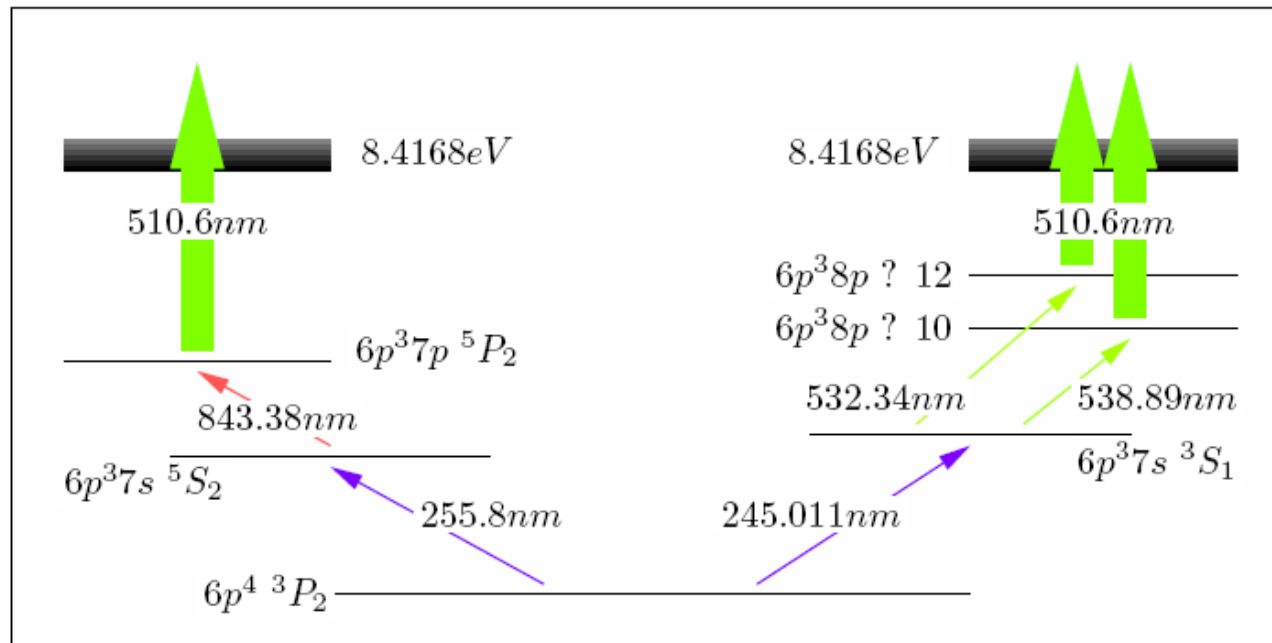
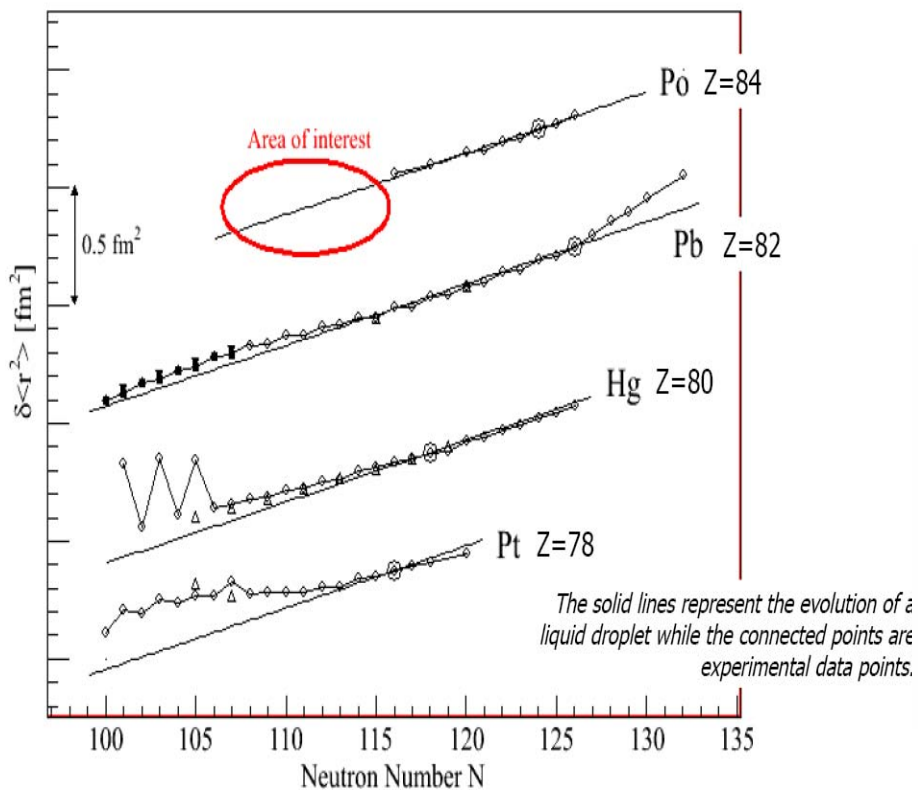


Figure 2: RILIS excitation schemes for ionising polonium.

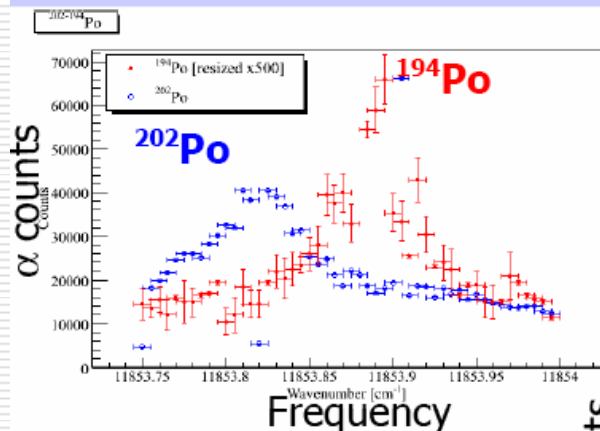
## Лазерная спектроскопия в лазерном ионном источнике на ISOLDE



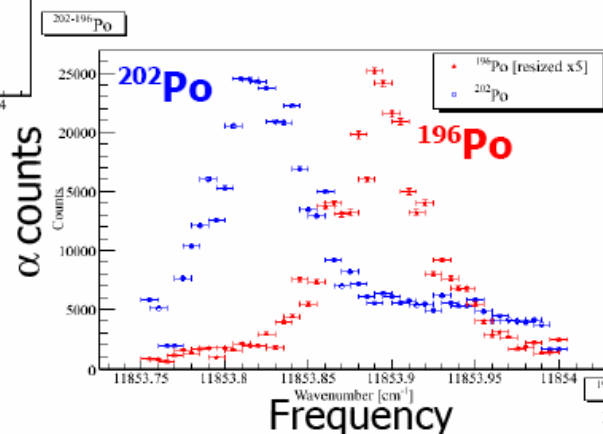
### Выходы изотопов Po на ISOLDE

Isotope	Yield [ $\mu\text{C}^{-1}$ ]	Half-life [s]	Isomer	Yield [ $\mu\text{C}^{-1}$ ]	Half-life [s]
$^{190}\text{Po}$	N/A	0.002			
$^{191}\text{Po}$	N/A	0.0155			
$^{192}\text{Po}$	N/A	0.0332			
$^{193}\text{Po}$	$6.5 \cdot 10^1$	0.42	$^{193m}\text{Po}$	$1 \cdot 10^2$	0.24
$^{194}\text{Po}$	$2.5 \cdot 10^3$	0.392			
$^{195}\text{Po}$	$2 \cdot 10^4$	4.64	$^{195m}\text{Po}$	$5 \cdot 10^4$	1.92
$^{196}\text{Po}$	$4.7 \cdot 10^5$	5.8			
$^{197}\text{Po}$	$2.5 \cdot 10^5$	53.6	$^{197m}\text{Po}$	$2 \cdot 10^6$	25.8
$^{198}\text{Po}$	$7 \cdot 10^6$	106.2			

# Isotope shift in even-even nuclei



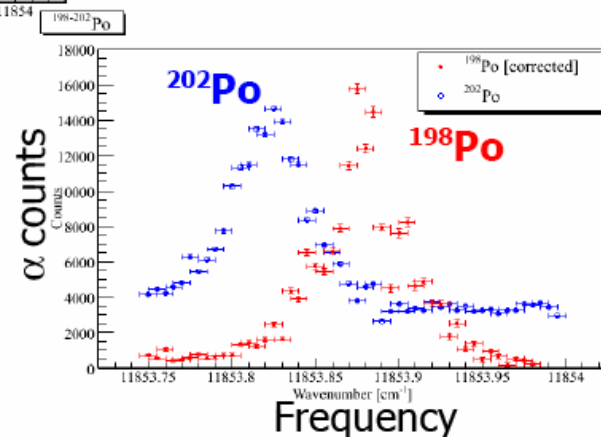
- ▶ Low statistics on  $^{194}\text{Po}$
- ▶  $\Delta\nu^{194-202} = 2 \text{ GHz}$



- ▶  $\Delta\nu^{196-202} = 2.4 \text{ GHz}$

- ▶ Each isotope is studied separately.
- ▶ Both the isotope of interest and  $^{202}\text{Po}$  are measured in a run

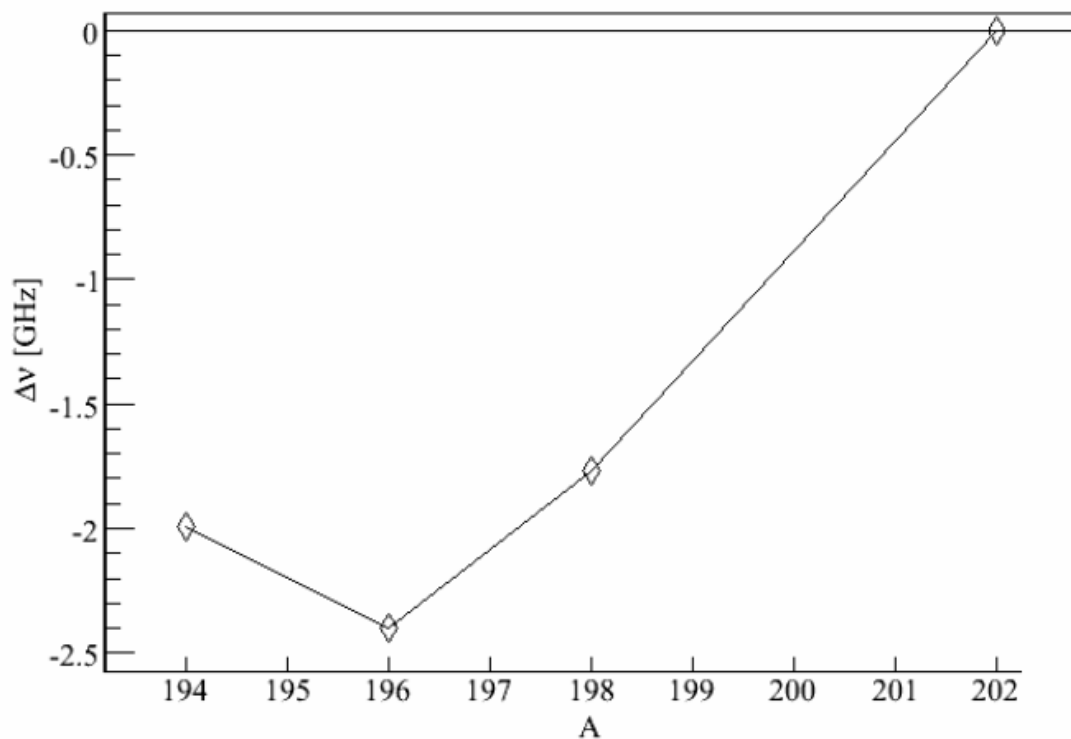
- ▶ Build-up due to longer half-life of  $^{198}\text{Po}$
- ▶  $\Delta\nu^{198-202} = 1.77 \text{ GHz}$



$^{202}\text{Po}$  [reference isotope]  
 $^{19x}\text{Po}$  [a-decaying isotope]

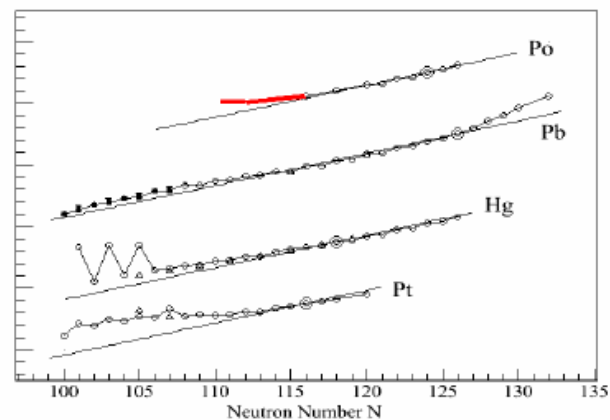
PRELIMINARY

# Isotope shift of even-even nuclei

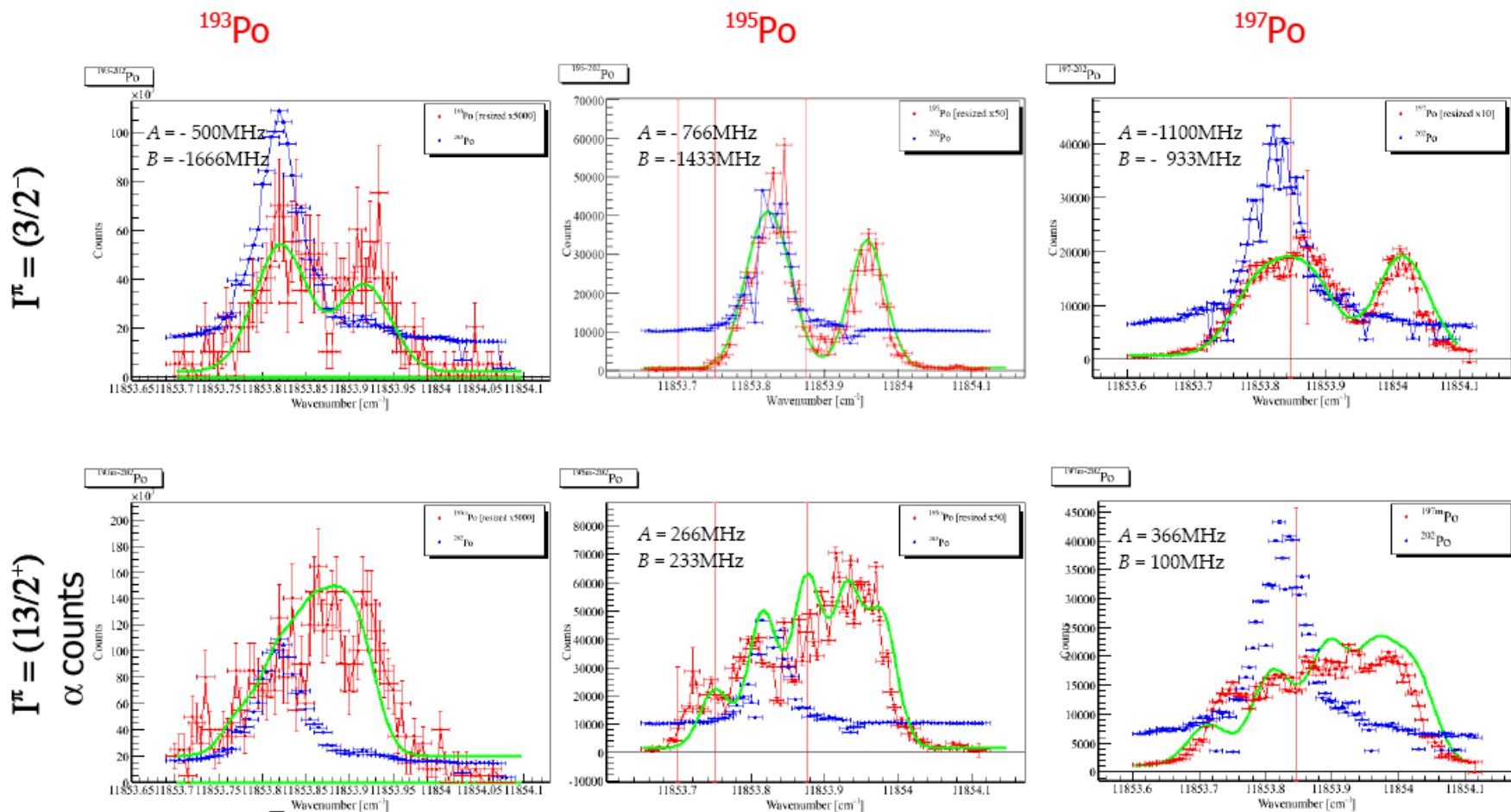


- ▶ Both  $^{198}\text{Po}$  and  $^{196}\text{Po}$  seem to align on a trend while  $^{194}\text{Po}$  clearly deviate from this.
- ▶ Further analysis is required to extract the precise impact on the  $\delta\langle r^2 \rangle$ .

PRELIMINARY

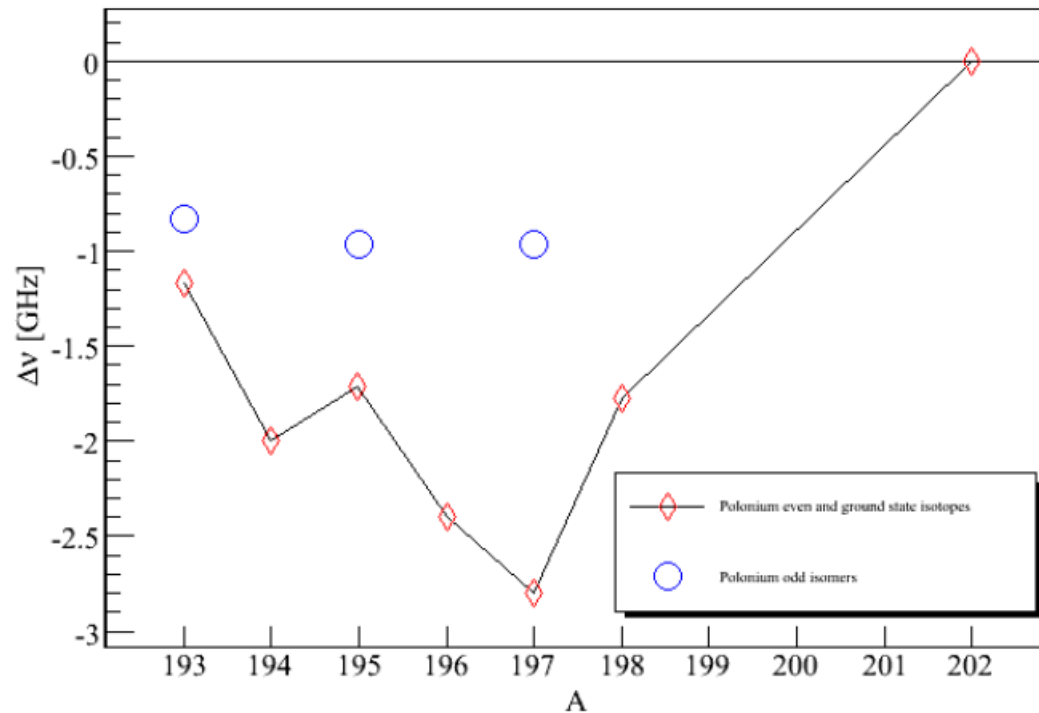


# Hyperfine structure of Po



PRELIMINARY

$$\Delta\nu$$



- ▶ Large isomer shift in the odd isotopes.
- ▶ Change in the overall trend.
- ▶ Still has to be transformed into mean-squared charge radius.

PRELIMINARY

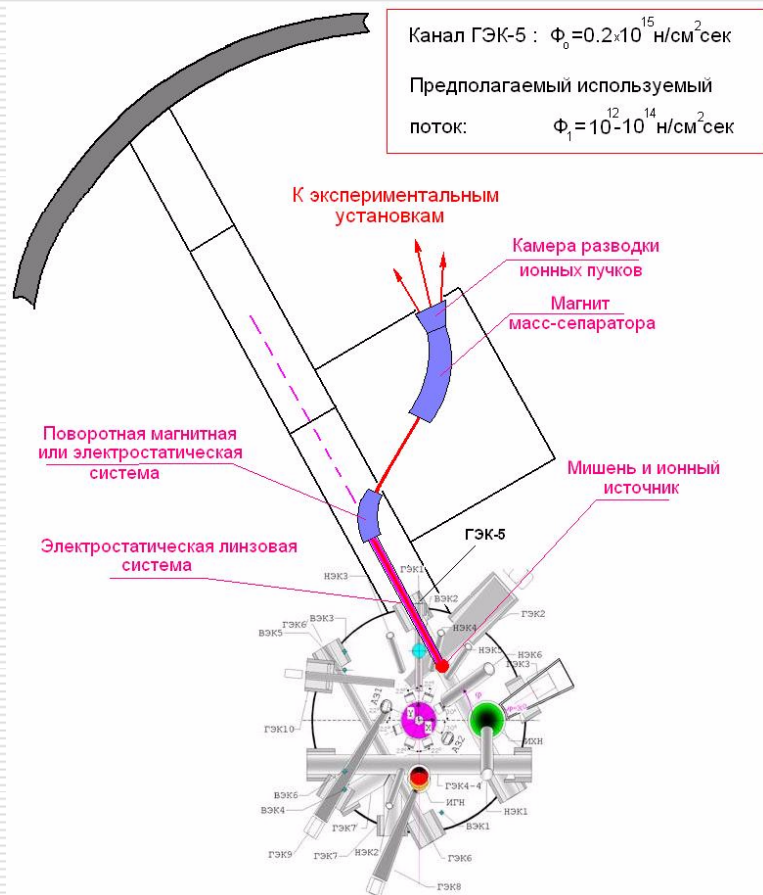
---

4. Разработка и on-line тесты прототипа мишенно-ионного устройства для масс-сепаратора ИРИНа (Исследование Радиоактивных Изотопов на НейтронАх).

---



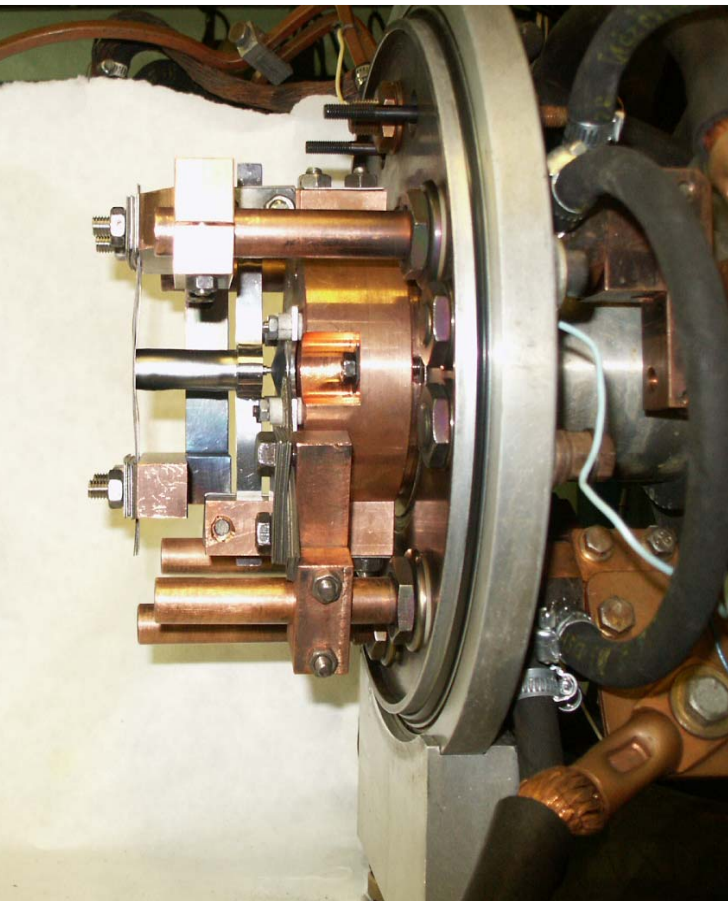
# Предварительная схема ISOL установки ИРИНа (Исследование Радиоактивных Изотопов на Нейтронах) на пучке реактора ПИК.



Расчетные выходы масс-сепаратора ИРИНа  
(мишень – 6 г <sup>235</sup>U, нейтронный поток –  $10^{13}$  н/см<sup>2</sup>·сек)

	ИРИНа	ISOLDE
<sup>78</sup> Zn	$5 \times 10^{10}$	$8 \times 10^7$
<sup>132</sup> Sn	$10^8$	$10^6$
<sup>148</sup> Cs	$10^8$	$2.5 \times 10^5$

## **Прототип высокотемпературного мишенно-ионного устройства для масс-сепаратора ИРИНа**



Масса мишенного вещества **5 – 10 г**

Внутренний контейнер из карбида Ta+Zr с температурой плавления более 4000 °С

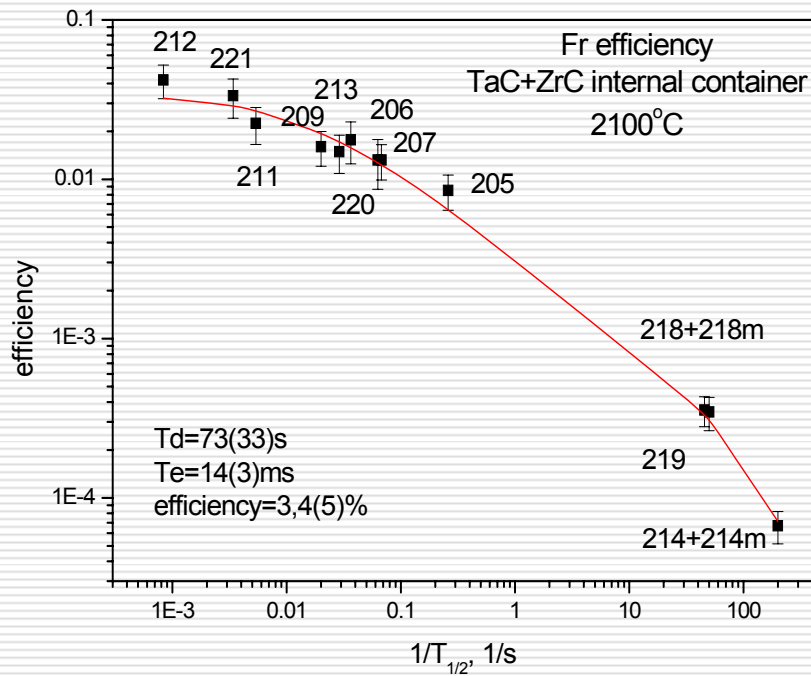
Рабочая температура **2300 – 2500 °С**

Рассеиваемая мощность до **2-3 кВт**

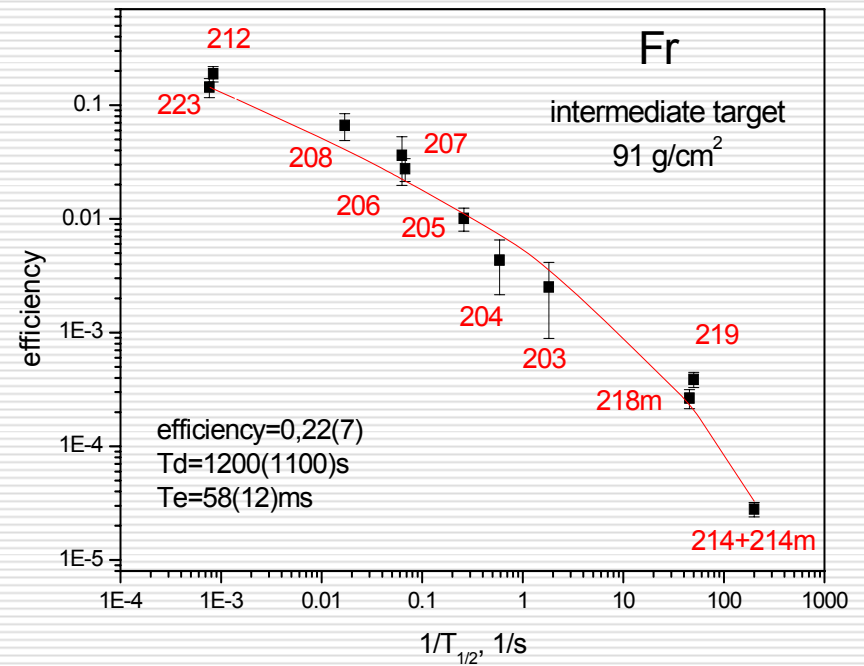
Из **<sup>238</sup>U** мишени на протонном пучке получены высокие выходы короткоживущих изотопов Cs и Fr с периодами полураспада до нескольких миллисекунд

# Эффективность прототипа мишенно-ионного устройства для масс-сепаратора ИРИНа

Мишень для м-с ИРИНа  $T_m = 2100 \text{ }^\circ\text{C}$



Стандартная мишень  $T_m = 2000 \text{ }^\circ\text{C}$



## **5. Подготовка нового МНТЦ проекта (завершена)**

---

### Название:

“Разработка прототипа мишени из карбида урана высокой плотности с массой мишенного вещества  $^{238}\text{U}$  около одного килограмма для получения радиоактивных ионных пучков”

### Участники:

ПИЯФ РАН, РИ им В.Г. Хлопина, ФГУП НПО “Луч”

### Иностранные коллабораторы:

LNL (Италия), GANIL, Orsay (Франция), ISOLDE (ЦЕРН)

---

## 6. Проект “Радиоактивные пучки”

---

Название проекта “Разработка новых мишенно-ионных устройств для получения “в линию” пучков радиоактивных изотопов высокой чистоты.

**– программа Президиума РАН**

**“Фундаментальные науки – медицине”**

Участники:

ПИЯФ РАН

ФГУП НПО “Луч”

РНЦРХТ (Российский научный центр радиологии и хирургических технологий).

**Целью проекта** является разработка и создание эффективных высокотемпературных мишенно-ионных устройств для on-line получения радиоизотопов высокой чистоты с периодами полураспада от нескольких часов до нескольких десятков дней, которые могут быть использованы в радиационной медицине для диагностики и лечения различных заболеваний.

**Выбор области нуклидов** обусловлен тем, что некоторые из них, например,  $^{134}\text{Ce}$ ,  $^{142}\text{Sm}$ ,  $^{167}\text{Tm}$ , полученные на установке ISOLDE, уже использовались в исследованиях по радиационной медицине.

**Эксперимент:** измерение в on-line режиме выходов долгоживущих ( $T_{1/2}$  = часы – десятки дней) радионуклидов Sr, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Er, Tm, Yb; подготовка соответствующих препаратов на основе полученных радионуклидов, их тестирование и использование в био-медицинских радиологических исследованиях в РНЦРХТ (Российский научный центр радиологии и хирургических технологий).

---

## Сотрудничество

---

### Российские партнеры:

- РИ им. Хлопина
- ФГУП НИИ НПО «Луч», Подольск
- ООО «Медицинские приборы», Химки
- РНЦРХТ (*Российский научный центр радиологии и хирургических технологий, Песочное*).

### Зарубежные лаборатории:

*(разработка мишеней и ионных источников, лазерная спектроскопия)*

EURISOL, task #4:

- GANIL, проект SPIRAL-II, Франция
- LNL (Legnaro)
- Orsay (Paris), проект ALTO, Франция
- ISOLDE (CERN)
- Ассоциированное участие в общеевропейских проектах JRA-1 и JRA-3

---

2008 год: мы к ним – 8.0 ч/м, 6 чел.  
они к нам – 1.5 ч/м, 5 чел.

## Список публикаций за 2008 г.

### Публикации:

1. V.N. Panteleev , O. Alyakrinskiy , M. Barbui , A.E. Barzakh , M. Dubois, C. Eleon , S. Essabaa , D.V. Fedorov , G. Gaubert , A.M. Ionan , V.S. Ivanov, P. Jardin, C. Lau, R. Leroy, G. Lhersonneau, K.A. Mezilev, C. Mhamed, P.L. Molkanov, F.V. Moroz, S.Yu. Orlov, M.G. Saint Laurent, L. Stroe, L.B. Tecchio, M. Tonezzer, A.C.C. Villari, Yu.M. Volkov, *Studies of uranium carbide targets of a high density*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B **266** (2008) 4247–4251.
2. V.N. Panteleev , A.E. Barzakh , S. Essabaa , D.V. Fedorov , A.M. Ionan , V.S. Ivanov, C. Lau, R. Leroy, G. Lhersonneau, K.A. Mezilev, P.L. Molkanov, F.V. Moroz, S.Yu. Orlov, L. Stroe, L.B. Tecchio, A.C.C. Villari, Yu.M. Volkov, *Electron beam-plasma ionizing target for the production of neutron-rich nuclides*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B **26** (2008) 4294–4297.
3. G. Lhersonneau, O. Alyakrinskiy, O. Bajeat, A.E. Barzakh, M. Dubois, C. Eleon, S. Essabaa, D.V. Fedorov, G. Gaubert, A.M. Ionan, V.S. Ivanov, P. Jardin, A. Lanchais, C. Lau, R. Leroy, K.A. Mezilev, M. Cheikh Mhamed, F.V. Moroz, S.Yu. Orlov, V.N. Panteleev, V. Rizzi, B. Roussiere, M.G. Saint-Laurent, L. Stroe, L.B. Tecchio, A.C.C. Villari, Yu.M. Volkov, *Tests of high-density UC targets developed at Gatchina for neutron-rich radioactive beam facilities*, accepted for Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. B.
4. G. Lhersonneau, A.E. Barzakh, V. Rizzi, O. Alyakrinskiy, K.A. Mezilev, F.V. Moroz, V.N. Panteleev, L.B. Tecchio, *Influence of decay in the target on the measurement of release times and release efficiency*, accepted for Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. B.
5. I. Stefanescu, G. Georgiev, D.L. Balabanski, N. Blasi, A. Blazhev, N. Bree, J. Cederkäll, T. E. Cocolios, T. Davinson, J. Eberth, A. Ekström, D.V. Fedorov, V.N. Fedosseev, L.M. Fraile, S. Franchoo, K. Gladnishki, M. Huyse, O. Ivanov, V. Ivanov, J. Iwanicki, J. Jolie, T. Konstantinopoulos, Th. Kräöll, R. Kräucken, U. Koester, A. Lagoyannis, G. Lo Bianco, P. Maierbeck, B.A. Marsh, P. Napiorkowski, N. Patronis, D. Pauwels, G. Rainovski, P. Reiter, K. Riisager, M. Seliverstov, G. Sletten, J. Van de Walle, P. Van Duppen, D. Voulot, N. Warr, F. Wenander, K. Wrzosek, *Interplay between single-particle and collective effects in the odd-A Cu isotopes beyond N=40*, Phys. Rev. Lett. **100**, 112502 (2008).
6. N. J. Stone, U. Koester, J. Rikovska-Stone, D. V. Fedorov, V. N. Fedoseyev, K. T. Flanagan, M. Hass, and S. Lakshmi, *Magnetic dipole moments of  $^{58}\text{Cu}$  and  $^{59}\text{Cu}$  by in-source laserspectroscopy*, Physical Review C **77**, 067302 (2008).

**Участие в международных конференциях и совещаниях в  
2008 г.**

---

**International Conference on Exotic Nuclei and Atomic Masses (ENAM 08),  
Ryn, Poland, 7-13th September, 2008:**

1. T.E. Cocolios, ... A. E. Barzakh, ... D.V. Fedorov, ... A.M. Ionan, ... P. Molkanov, ... M. D. Seliverstov, ... Yu. M. Volkov, ... Study of the change in the mean-square charge radius of polonium ( $Z=84$ ) to probe the shape coexistence in the neutron-deficient isotopes close to mid-shell  $N=104$

2. V.N. Panteleev, O. Alyakrinskiy, M. Barbui, A.E. Barzakh, D.V. Fedorov, V.S. Ivanov, G. Lhersonneau, K.A. Mezilev, P.L. Molkanov, F.V. Moroz, S.Yu. Orlov, L. Stroe, L.B. Tecchio, M. Tonezzer, Yu.M. Volkov, *Production of Cs and Fr isotopes from a high density UC targets with different grain dimensions.*

---



## **Аннотация основных результатов 2008 года:**

---

1. Изготовлена и протестирована вторая очередь (ультрафиолетовый диапазон излучения) универсальной лазерной ионизационно-спектроскопической системы (УЛИСС) для резонансной ионизации и лазерно-спектроскопических исследований короткоживущих радионуклидов. Изготовлена системы транспортировки лазерных лучей в ультрафиолетовом диапазоне к мишенно-ионному устройству установки ИРИС.
  2. Проведены три сеанса на ускорителе по программе исследования мишеней из карбида урана высокой плотности в сотрудничестве с LNL и ISOLDE.
  3. Проведены on-line тесты нового уникального УС мишенного устройства массой 700 г.
  4. Ведется обработка результатов эксперимента по изучению зарядовых радиусов четных и нечетных изотопов Po методом лазерной ионизационной спектроскопии в лазерном ионном источнике.
  5. Завершена подготовка следующего МНТЦ проекта
  6. Получена 2-ая премия на конкурсе лучших работ ПИЯФ
-

## *План работ ЛКЯ на 2009 год*

---

1. Запуск в экспериментальном зале ИРИС новой лазерной установки (2ой очереди) ультрафиолетового диапазона излучения с системой сканирования частоты и каналом транспортировки ультрафиолетового излучения к лазерному ионному источнику.
  2. On-line исследования мишенно-ионных устройств с UC мишенным веществом различной пористой и дисперсности. Измерение выходов изотопов Cs и Fr из разработанных высокотемпературных мишеней.
  3. Изучение формы ядер Po ( $Z=84$ ) и других нуклидов этой области на установке ISOLDE с использованием лазерного ионного источника.
  4. Продолжение разработки проекта ИРИНа.
  5. Изготовление и тесты мишени для получения медицинских пучков
-