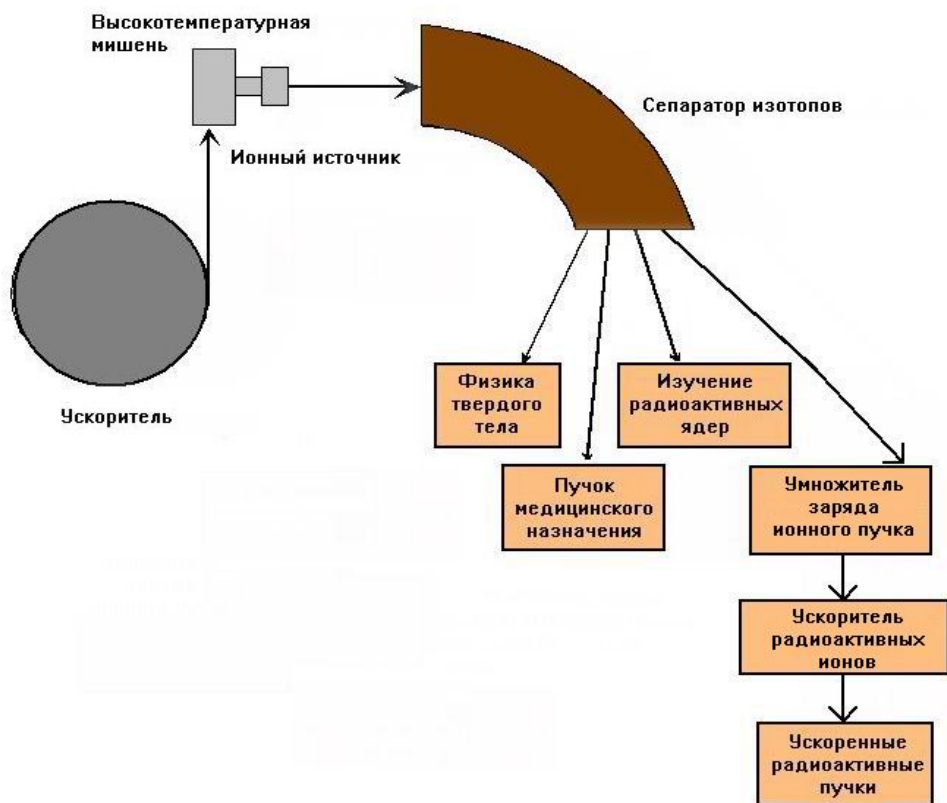


**Ученый Совет ПИЯФ РАН, 28-29 января 2010 г.,
Лаборатория короткоживущих ядер ОФВЭ
В. Н. Пантелеев**

Исследование нейтронно-дефицитных и нейтронно-избыточных ядер, удаленных от полосы β -стабильности, 2009 - 2014 г.

Современная ISOL (Isotope Separator On-Line) система на пучке протонов



Основные направления исследования удаленных ядер:

- Массы ядер
- Радиусы, электромагнитные моменты
- Силовые функции бета-распада
- Альфа-распад
- Протонный распад
- Запаздывающие частицы, запаздывающее деление
- Новые моды возбуждения
- Фундаментальные взаимодействия
- Астрофизические процессы

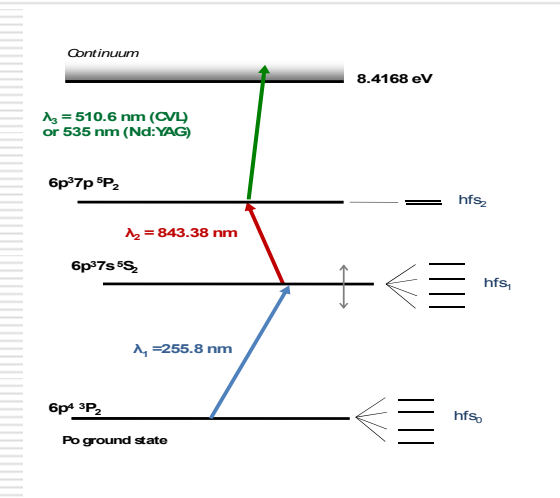
За время работы с момента запуска установки ИРИС (1975) из мишеней из тугоплавких металлов и карбида урана - 238:

- Получено более 300 ядер, 17 – идентифицировано впервые.
 - Проведены систематические исследования распадов Гамов-Теллеровских резонансов нейтронно-дефицитных ядер.
 - Измерены значения $Q\beta$ энергий распада более 60 ядер, для 32 - $Q\beta$ измерено впервые, что позволило определить массы большого числа чрезвычайно удаленных нуклидов.
 - В области нейтронно-дефицитных изотопов редкоземельных элементов впервые идентифицирован участок границы протонной устойчивости.
 - Методами резонансной ионизационной и коллинеарной спектроскопии определены изотопические изменения среднеквадратичных зарядовых радиусов и электромагнитные моменты более 120 нуклидов редкоземельной области.
 - Впервые предложен и использован метод селективного лазерного источника и резонансной ионизационной спектроскопии в лазерном ионном источнике, позволяющий проводить исследования радиоактивных ядер, образующихся в мишени в количестве менее 1 ядра в секунду.
-

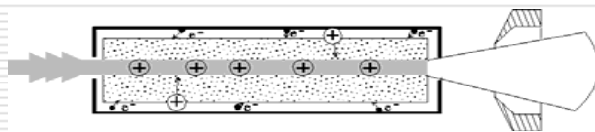
Метод импульсной лазерной резонансной ионизации радиоактивных атомов в лазерном ионном источнике, впервые разработанный и использованный на ИРИСе

Для получения и исследования радиоактивных изотопов на ИРИСе впервые был использован метод импульсной многоступенчатой резонансной лазерной ионизации, предложенный В. С. Летоховым (ИСАН, Троицк).

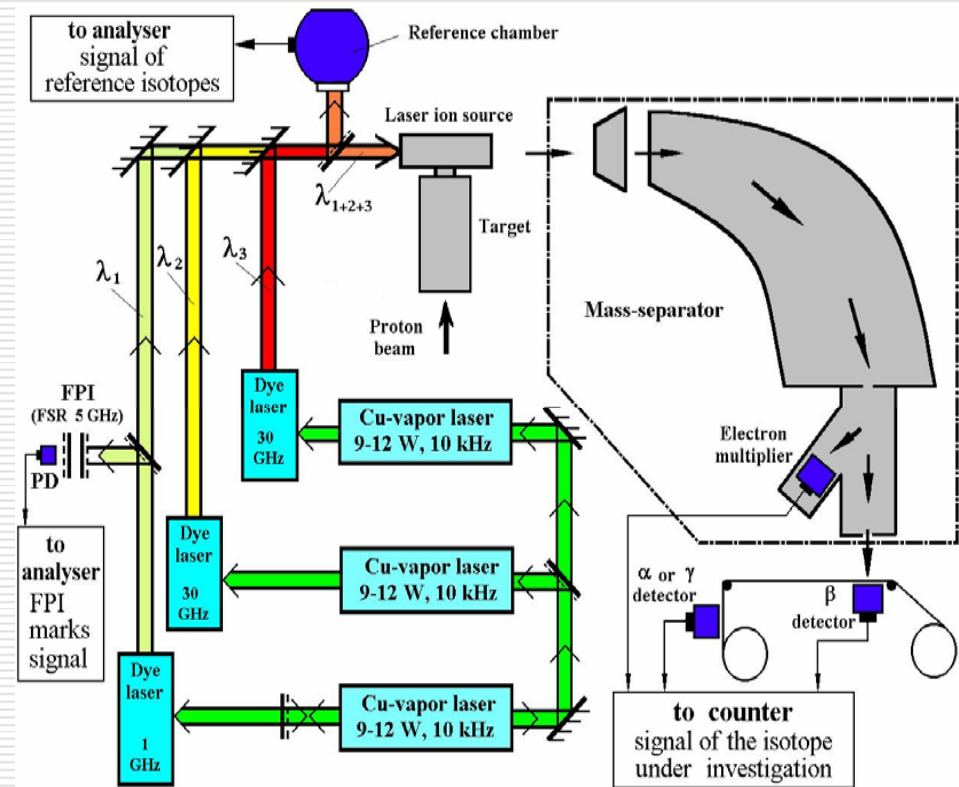
Лазерно-ядерный комплекс ИРИС, 1985-2006 г.
(исследование нуклидов с потенциалами ионизации до 6 эВ)

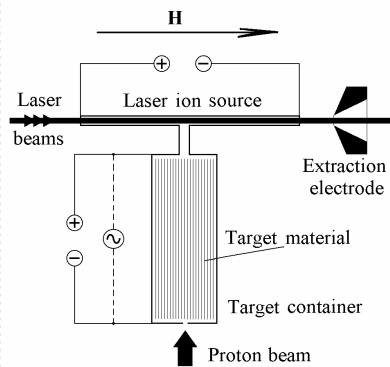


Лазерный ионный источник

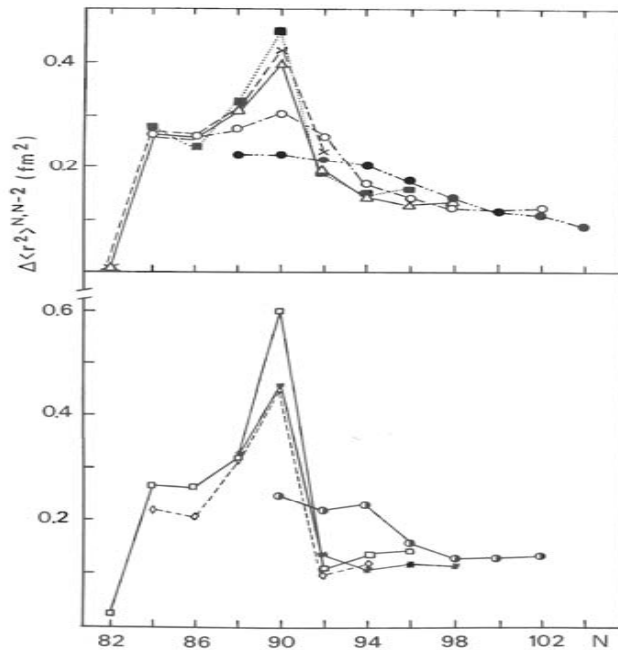
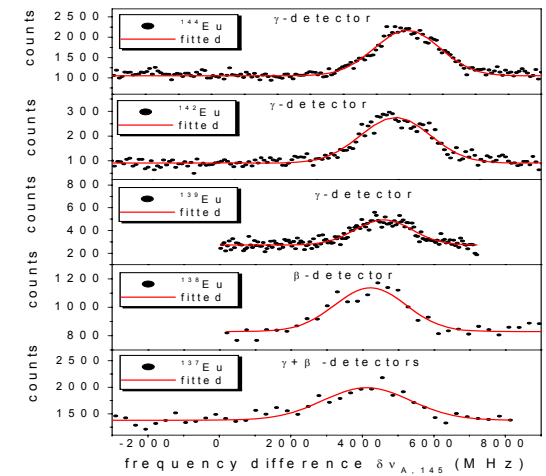


Высокая, до 40%, эффективность, высокая селективность разделения изобар

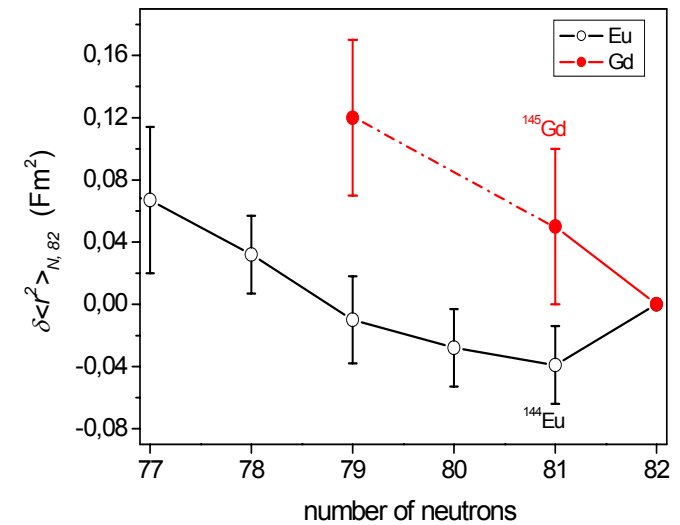




Изотопический сдвиг, измеренный методом резонансной лазерной ионизационной спектроскопии в лазерном ионном источнике для крайне удаленных нейтронно-дефицитных изотопов европия



Изменения среднеквадратичных радиусов ядер в окрестности $Z=64$.
 В верхней части приведены данные для ядер с четным Z : ядра ^{70}Yb (заполненные окружности), ^{68}Er (полые окружности), ^{66}Dy (треугольники), ^{64}Gd (заполненные квадраты), ^{62}Sm (крестики).
 В нижней части приведены данные для ядер с нечетным Z : ядра ^{69}Tm (полузаполненные окружности), ^{67}Ho (звездочки), ^{65}Tb (ромбы), ^{63}Eu (полые квадраты).



Изменения зарядовых радиусов удаленных изотопов европия и гадолиния, полученные в лазерном ионном источнике из измеренных изотопических сдвигов

Измерения зарядовых радиусов ядер изотопов в районе свинца ($Z=84$), на ISOLDE (ЦЕРН)

На ISOLDE успешно используется метод лазерного ионного источника и резонансной спектроскопии в лазерном ионном источнике при активном участии сотрудников ИРИСа

Использование на ISOLDE метода умножения частоты позволило значительно расширить круг исследуемых нуклидов с V_i до 9 эВ (область у.ф. излучения)

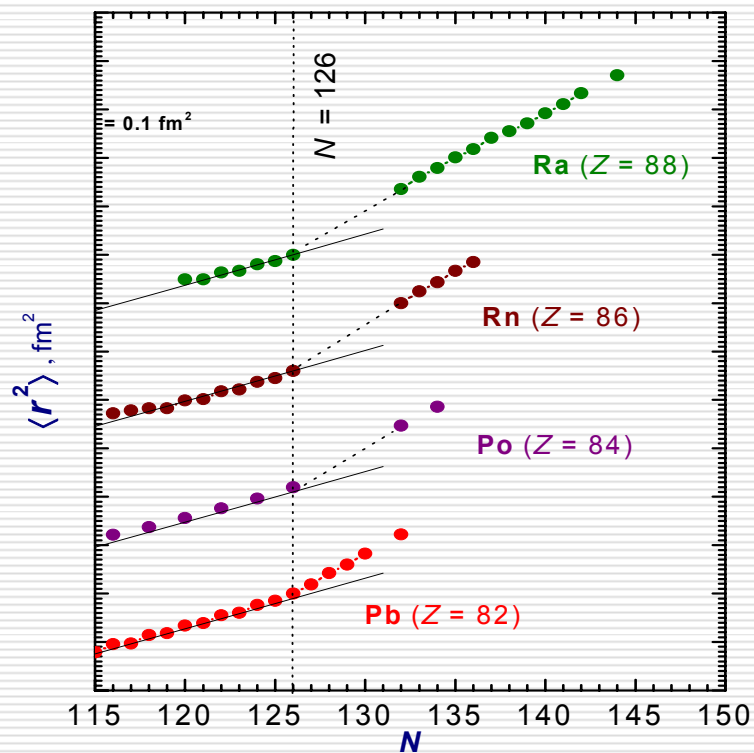
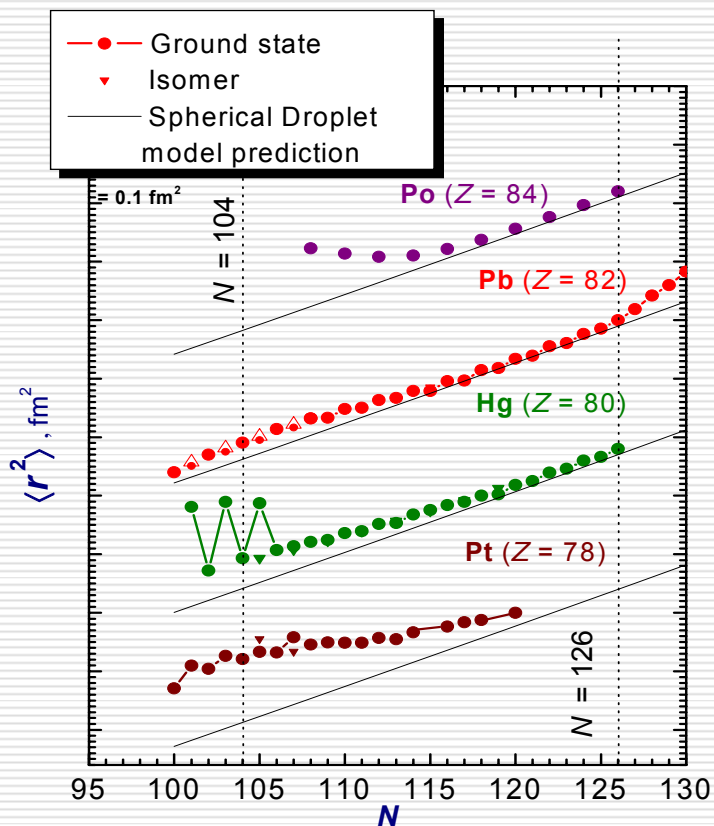
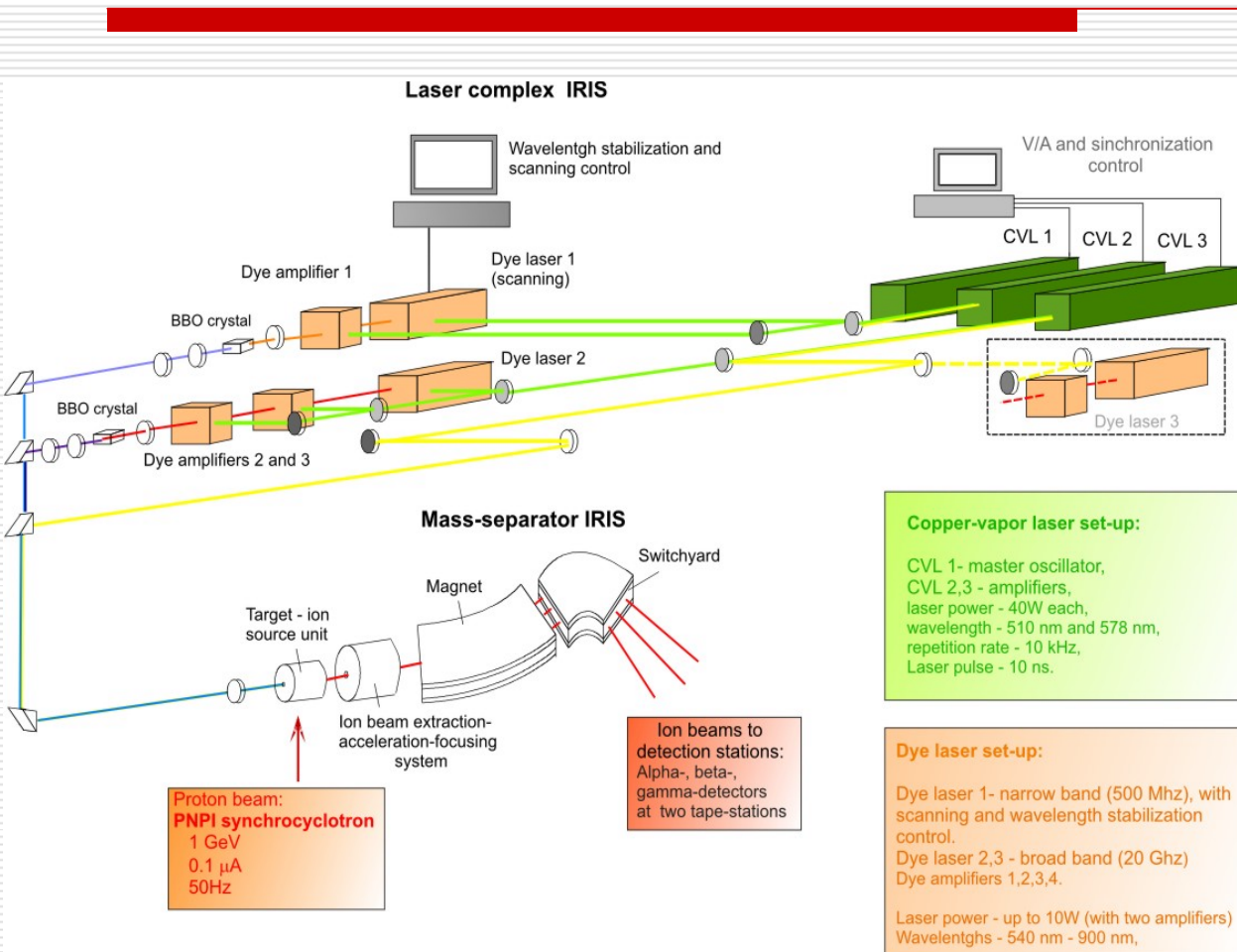


Схема Универсальной Лазерной Ионизационно-Спектроскопической Системы (УЛИСС), создаваемой на ИРИСе



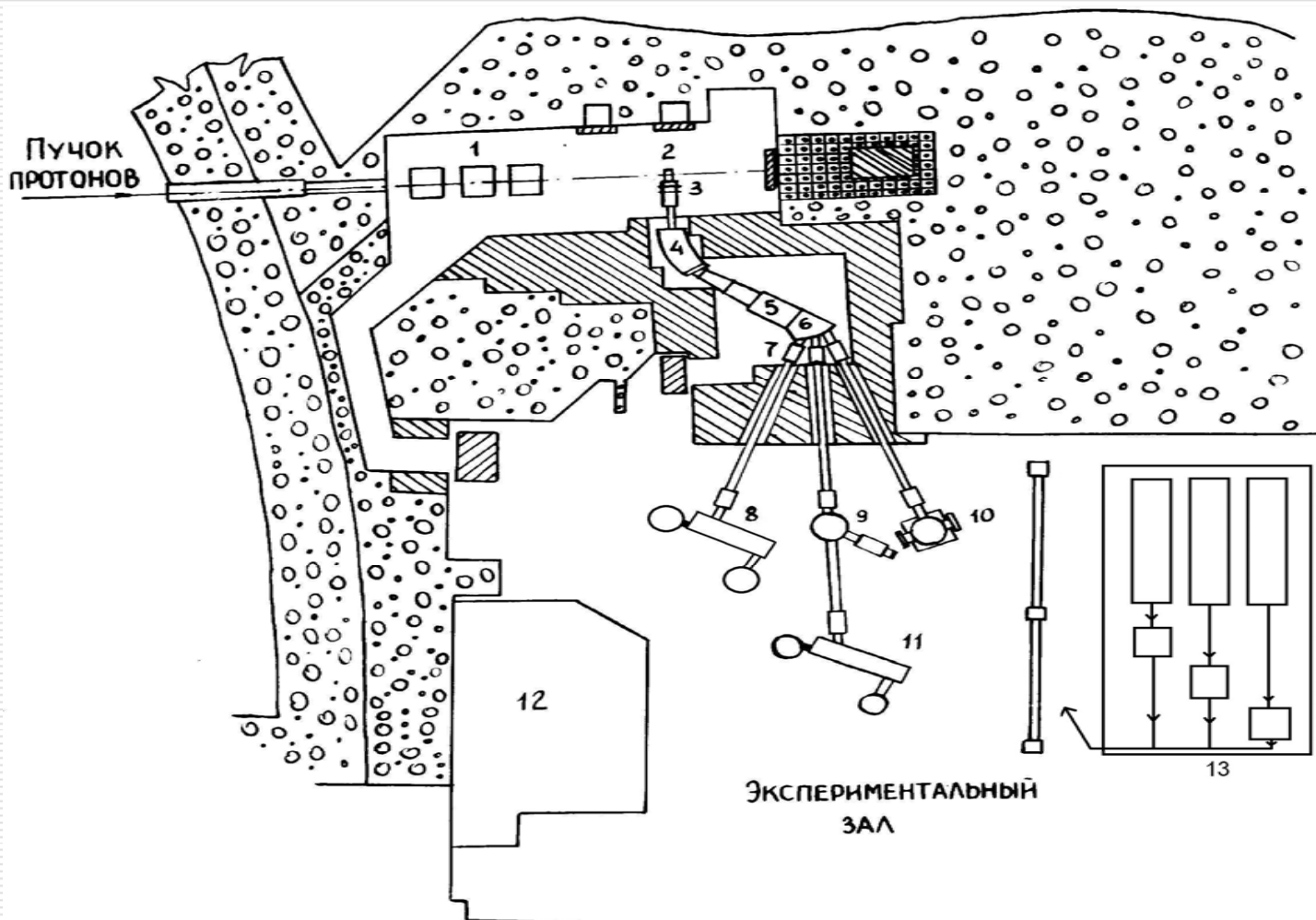
Изготовлено и запущено в экспериментальном зале ИРИСа:

1. Новая система лазеров на парах меди
2. Лазер на красителе + умножитель частоты (один канал излучения в области ультрафиолета)

Для проведения on-line экспериментов по лазерной спектроскопии **Ga, Al, Ca, Ag, In, Tl** изготовлена система сканирования частоты и система транспортировки ультра-фиолетового излучения к мишенно-ионному устройству масс-сепаратора ИРИС.

В ноябре 2009 произведен физический пуск УЛИССа, а в конце декабря получен первый резонансный сигнал на радиоактивных ионах индия в линию на пучке синхроциклотрона ПИЯФ!

Экспериментальный зал ИРИСа с новой лазерной установкой УЛИСС



13. Универсальная лазерная ионизационно-спектроскопическая система (УЛИСС)

Физический запуск системы УЛИСС. Получена резонансная ионизация стабильных изотопов Tl и In в лазерном ионном источнике



Схема двухступенчатой резонансной ионизации атомов Tl.
 Сверхтонкая структура, измеренная на стабильных изотопах ^{205}Tl и ^{115}In .
 Селективная лазерная ионизация радиоактивного изотопа ^{119}In ($T_{1/2}=2.4$ min)
 22.12.2009 01.15. – 4.30

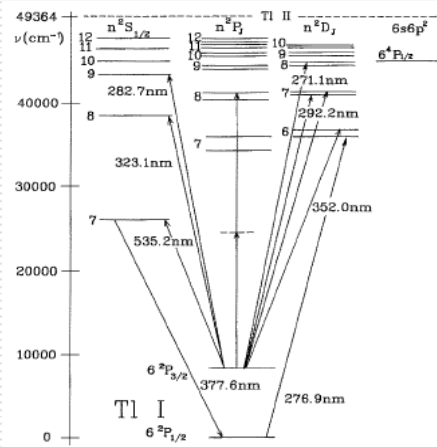
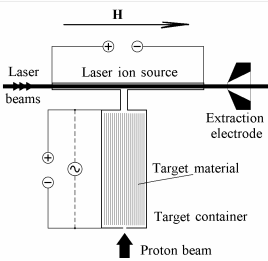
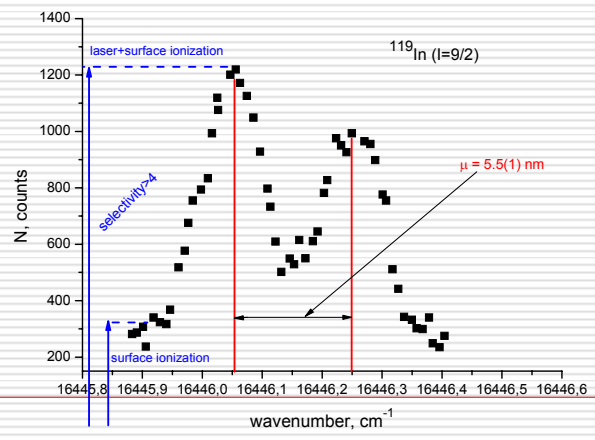
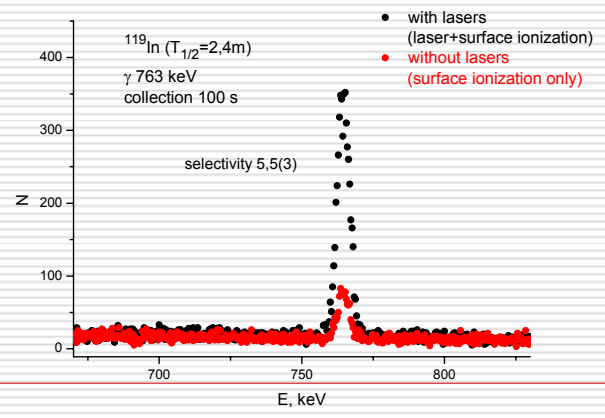
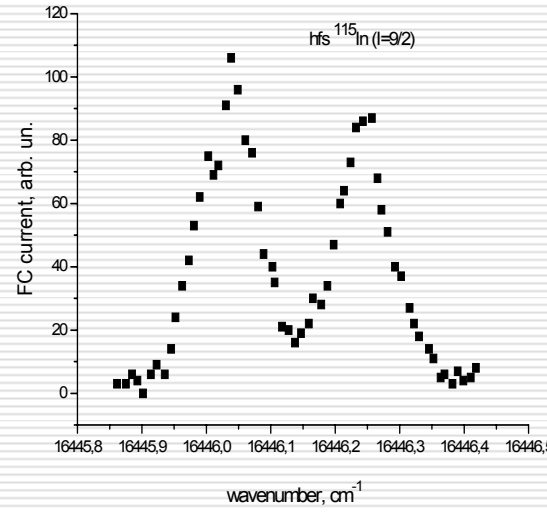
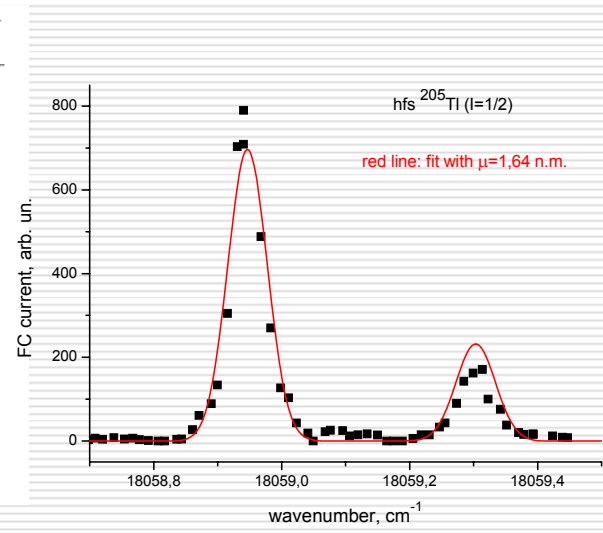
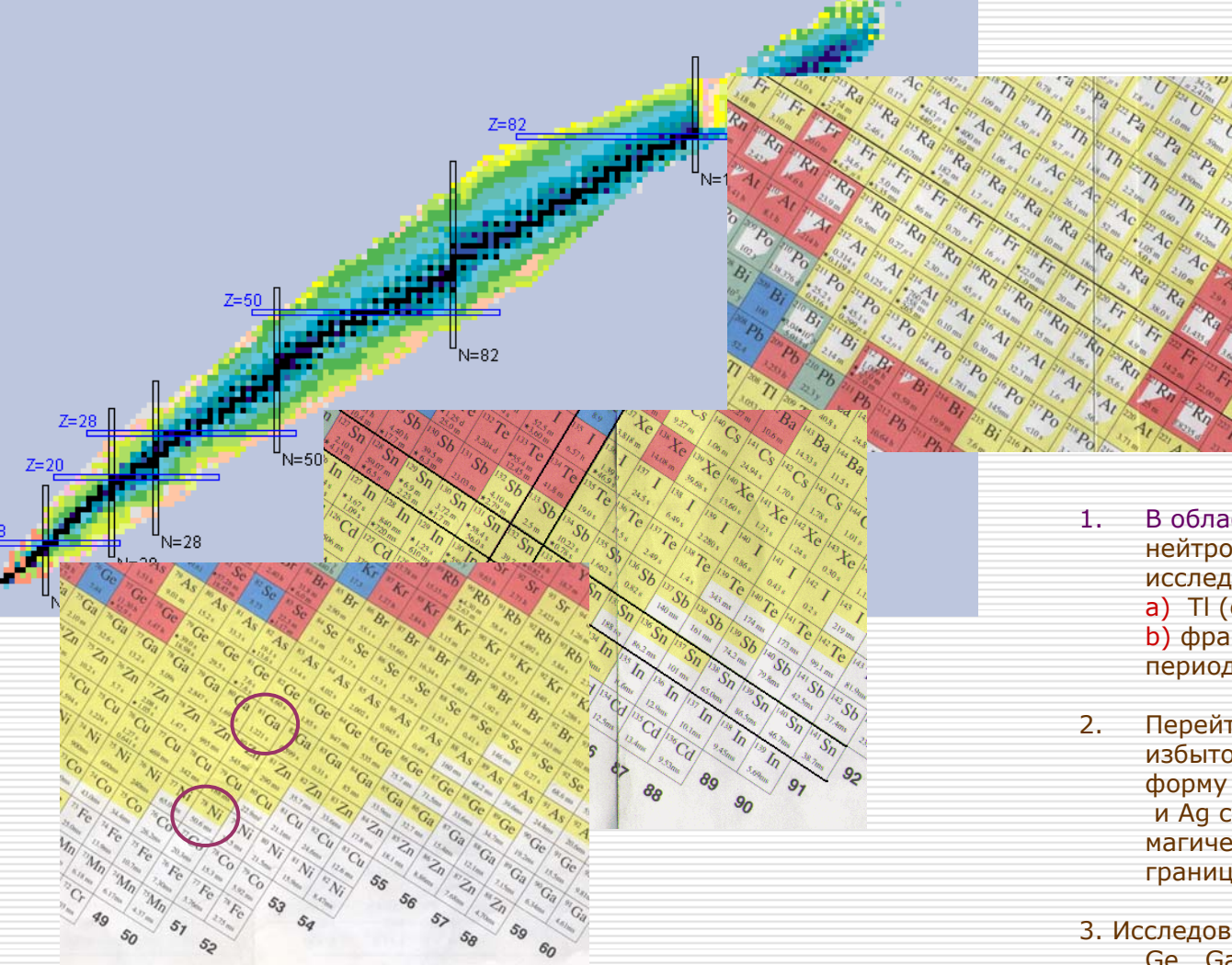


Fig. 1. Energy-level diagram of Tl I with the investigated transitions



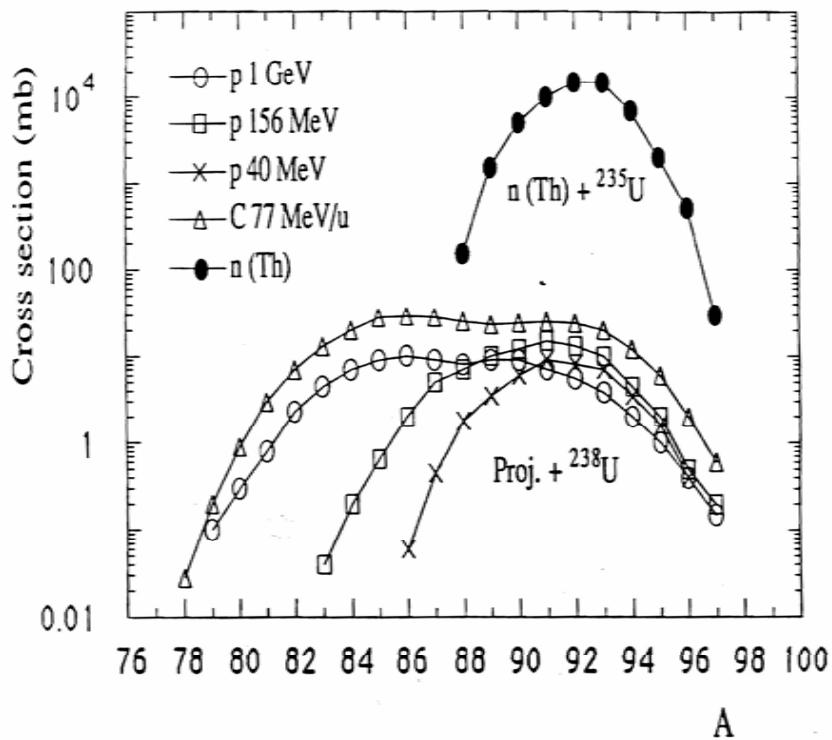


2010-2014 г. г. :

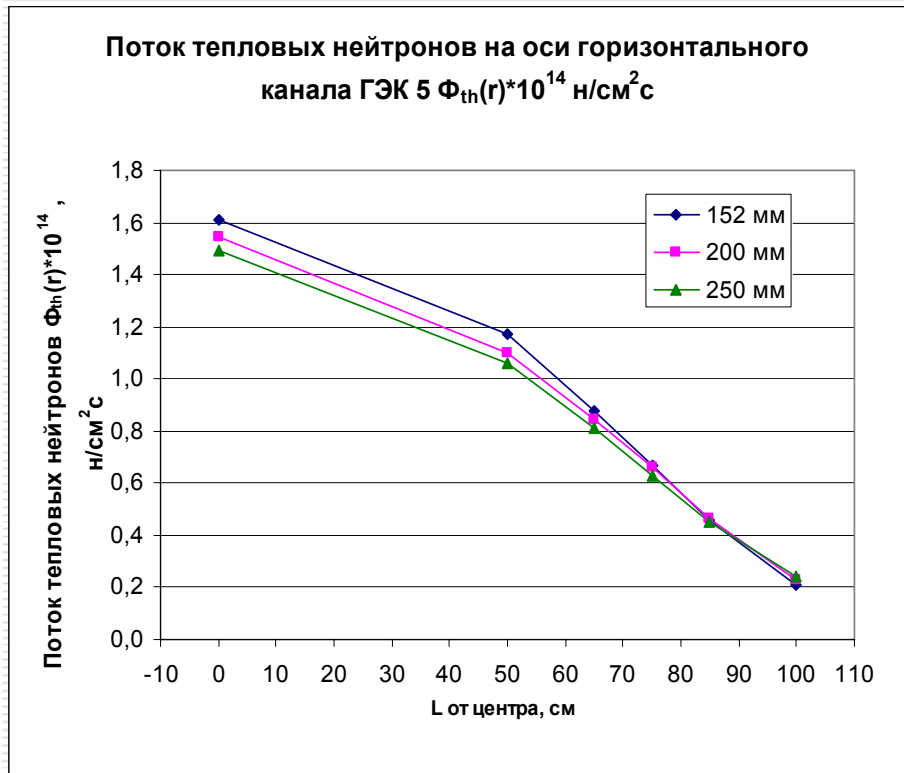
1. В области тяжелых нейтронно-дефицитных изотопов исследовать форму ядер изотопов
 - a) Tl (область свинца $Z=82$)
 - b) франция с аномально короткими периодами полураспада ($T_{1/2}=1-20$ мс);
2. Перейти в новые области нейтронно-избыточных изотопов и исследовать форму ядер изотопов Te, Sb, Sn, In, Cd и Ag с числом нейтронов близким к магическому $N=82$ в окрестности границы нейтронной устойчивости;
3. Исследовать форму ядер изотопов Ge, Ga, Zn, Cu и Ni (в окрестности оболочки с магическим числом протонов $Z=28$ и магическим числом нейтронов $N=50$) с целью изучения влияния на форму ядра оболочечного эффекта;

ПЛАНИРУЕМЫЕ ОБЛАСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ НУКЛИДОВ

Проект ИРИНА (Исследование Радиоактивных Изотопов на Нейтронах) на реакторе ПИК



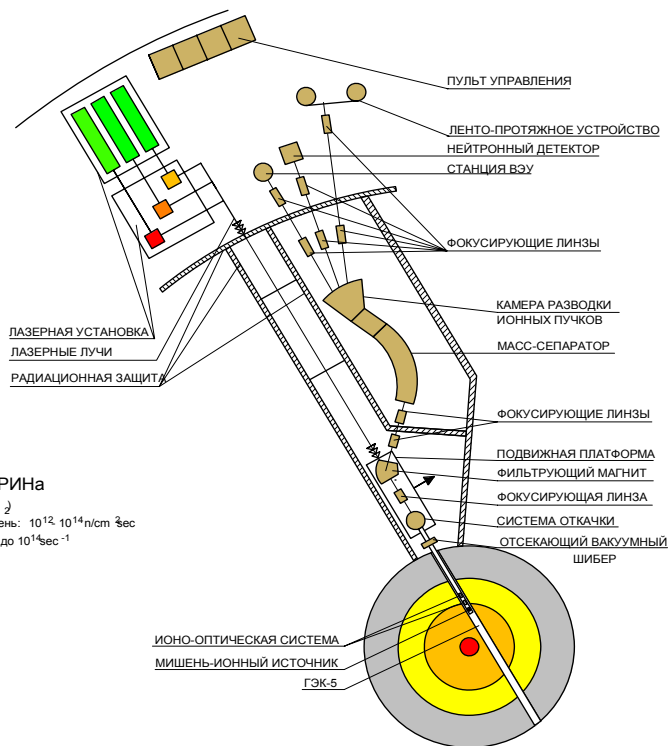
Сечения образования изотопов Rb на пучках различных частиц



Расчеты проведены А.Н. Ерыкаловым и Э.Г. Сахновским

Проект ИРИНА

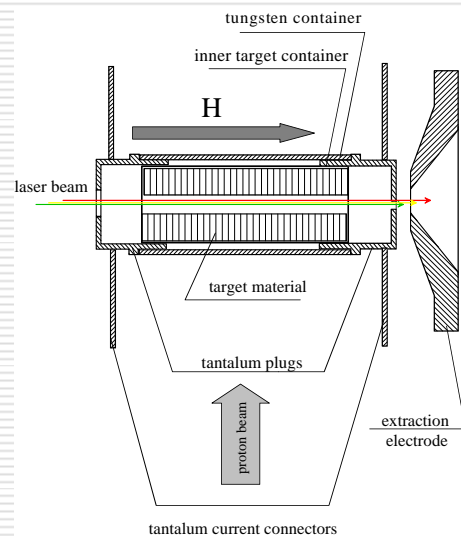
Масс-сепаратор ИРИНА на канале ГЭК-5 реактора ПИК



Масс-сепаратор ИРИНА

Мишень: $1\text{-Bg } ^{235}\text{U}$ (U, UC)
 Поток нейтронов через мишень: $10^{12}, 10^{14} \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$
 Число делений в мишени: до 10^{14} sec^{-1}
 Т мишени: до $2400 \text{ }^\circ\text{C}$

Совмещенный лазерный источник-мишень, впервые разработанный и испытанный на ИРИСе. Масса урана: 3-5 г.



Сравнение расчетных выходов (в мишени) установок ИРИНА и SPIRAL2

Nuclide	Z	T1/2 sec	IRIN Cum.Yield	SPIRAL2 Cum.Yield
⁷⁴ Ni	28	0,9	4,58E+06	2,75E+05
⁷⁸ Cu	29	0,342	1,09E+07	1,15E+06
⁸⁰ Zn	30	0,545	2,42E+08	2,64E+09
⁸⁴ Ga	31	0,085	1,11E+10	1,24E+07
⁸⁵ Ge	32	0,535	2,13E+09	4,09E+08
⁸⁷ As	33	0,49	5,27E+10	8,60E+09
⁹¹ Se	34	0,27	6,66E+08	2,71E+08
⁹³ Br	35	0,102	3,09E+09	3,35E+09
⁹⁵ Kr	36	0,78	7,19E+09	4,45E+09
¹⁰⁰ Rb	37	0,051	3,48E+10	1,79E+07
¹⁰² Sr	38	0,069	1,73E+08	9,02E+07
¹⁰² Y	39	0,3	2,68E+11	1,02E+10
¹²⁷ Ag	47	0,109	1,58E+02	1,71E+01
¹³⁰ Cd	48	0,195	8,78E+10	8,03E+04
¹³³ In	49	0,18	1,71E+08	1,06E+08
¹³⁴ Sn	50	1,12	1,77E+10	2,62E+09
¹³⁶ Sb	51	0,82	1,15E+10	3,45E+09
¹³⁸ Te	52	1,4	6,62E+10	7,96E+09
¹⁴¹ I	53	0,43	4,07E+10	3,69E+09
¹⁴⁵ Xe	54	0,9	7,16E+07	1,87E+08
¹⁴⁸ Cs	55	0,14	1,31E+07	3,53E+07
¹⁵⁰ Ba	56	0,3	5,02E+07	7,82E+07
¹⁵⁰ La	57	0,51	1,05E+10	3,15E+09

Для большинства крайне удаленных нейтронно-избыточных изотопов выходы на установке ИРИНА выше, чем на установке SPIRAL2, физический запуск которой планируется в 2012 г. и которая, согласно сегодняшним оценкам, будет иметь самые высокие выходы нейтронно-избыточных изотопов.

Основные результаты 2009 г.

- Произведен физический пуск универсальной лазерной ионизационно-спектроскопической системы УЛИСС на стабильных изотопах In и Tl
 - Получена резонансная ионизация радиоактивных изотопов In при работе в линию системы УЛИСС с установкой ИРИС на пучке синхроциклотрона ПИЯФ
 - На установке ISOLDE измерены изотопические сдвиги и электромагнитные моменты нейтронно-дефицитных изотопов полония $^{191,192,203,206,207,208,209,210,211,216,218}\text{Po}$.
 - Начата конструкторская проработка и создание прототипа ионо-оптической системы масс-сепаратора ИРИНА
-

Публикации

- V. N. Panteleev A.E. Barzakh, D.V. Fedorov, O. Alyakrinskiy, V.S. Ivanov, G. Lhersonneau, K.A. Mezilev, F.V. Moroz, S.Yu. Orlov, V. Rizzi, L.B. Tecchio and Yu.M. Volkov, Production of Cs and Fr isotopes from a high density UC targets with different grain dimensions. Eur. Phys. J. A (2009) DOI 10. 1140 /epja/ i2009-10841-3.J.
 - Sauvage,...D. V. Fedorov,...M. Seliverstov,...Yu. M. Volkov, Nuclear structure of ^{189}Tl states studied via β^+/EC decay and laser spectroscopy of $^{189\text{m}+g}\text{Pb}$. Eur. Phys. J. A 39, 33-48 (2009).
 - M. D. Seliverstov,...A. E. Barzakh,... D. V. Fedorov,...Yu. M. Volkov, Charge radii and magnetic moments of odd - A $^{183-189}\text{Pb}$ isotopes. Eur. Phys. J. A 41, 315-321 (2009).
-