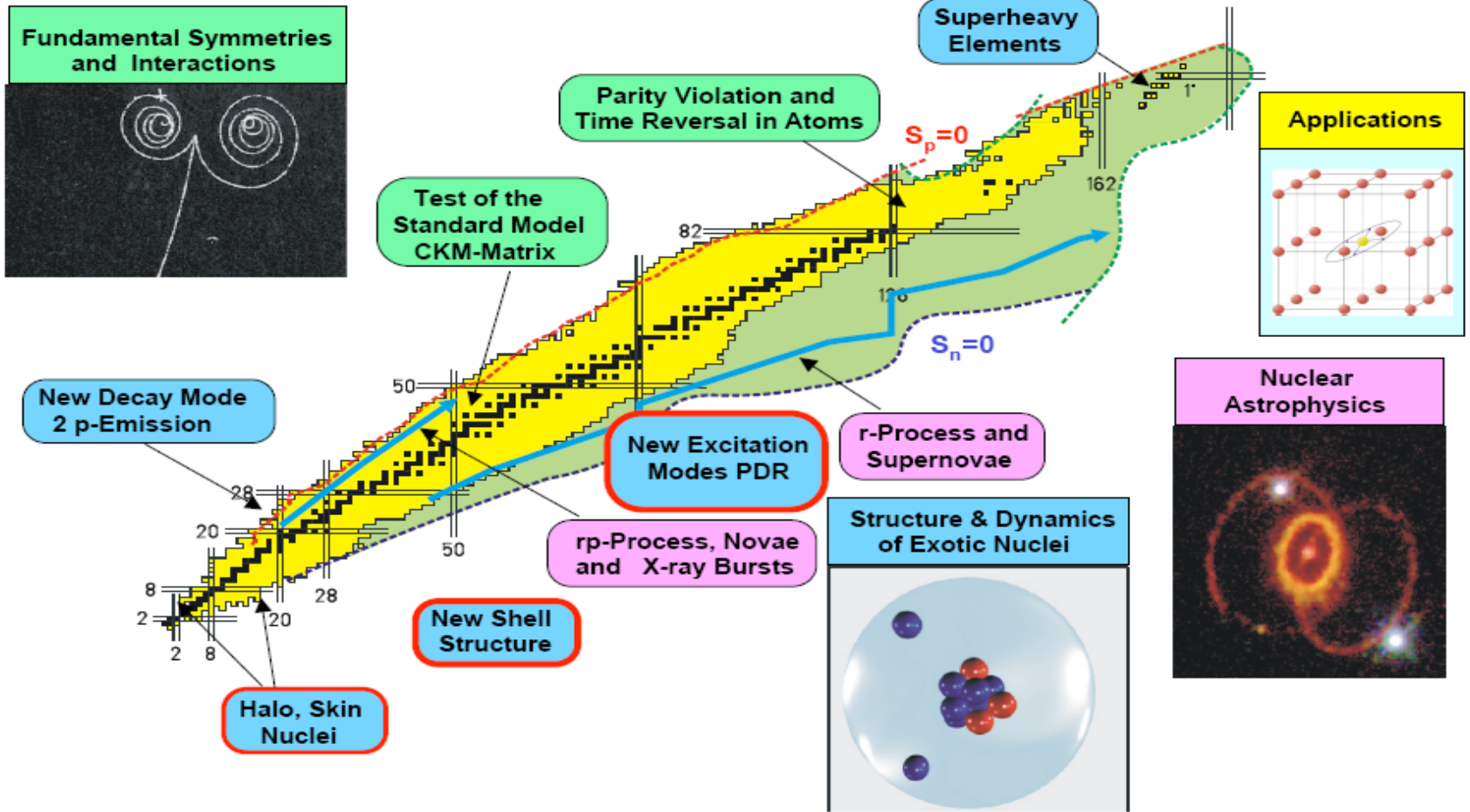


Сессия ученого Совета ОФВЭ, 24-27 декабря 2012г.,

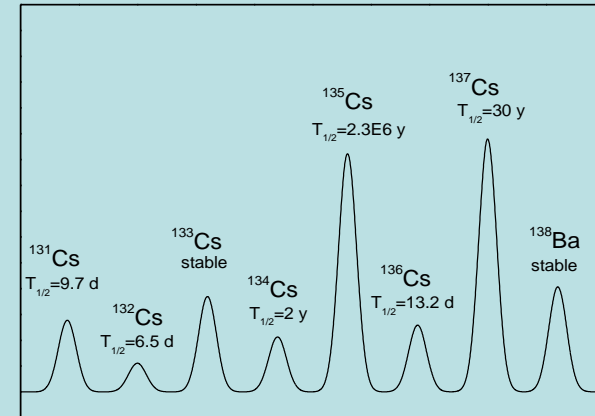
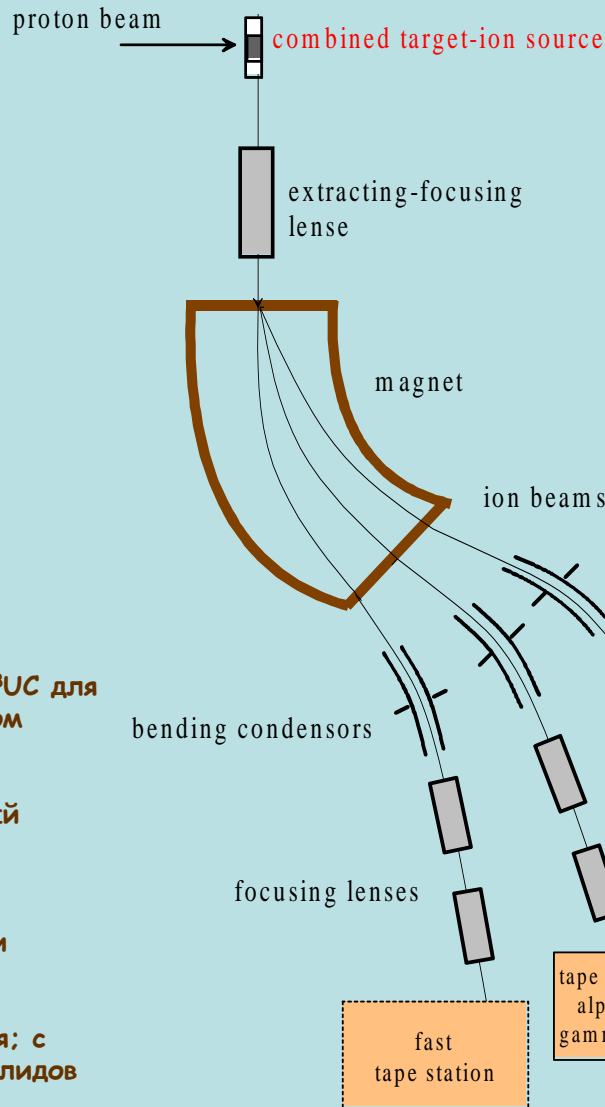
Лаборатория короткоживущих ядер
В. Н. Пантелеев

Эксперименты на установке ИРИС

Physics with Exotic Nuclei



ИРИС - единственная в России ISOL установка (работает в ПИЯФ с 1975 г.)



Долгоживущие изотопы Cs из ²³⁸U мишени, измеренные с помощью цилиндра Фарадея на коллекторе масс-сепаратора ИРИС. Эффективность получения $\epsilon_{r-i} = 65 \pm 15\%$

Протоны: 1000 MeV, до 0.3 μ A на мишени

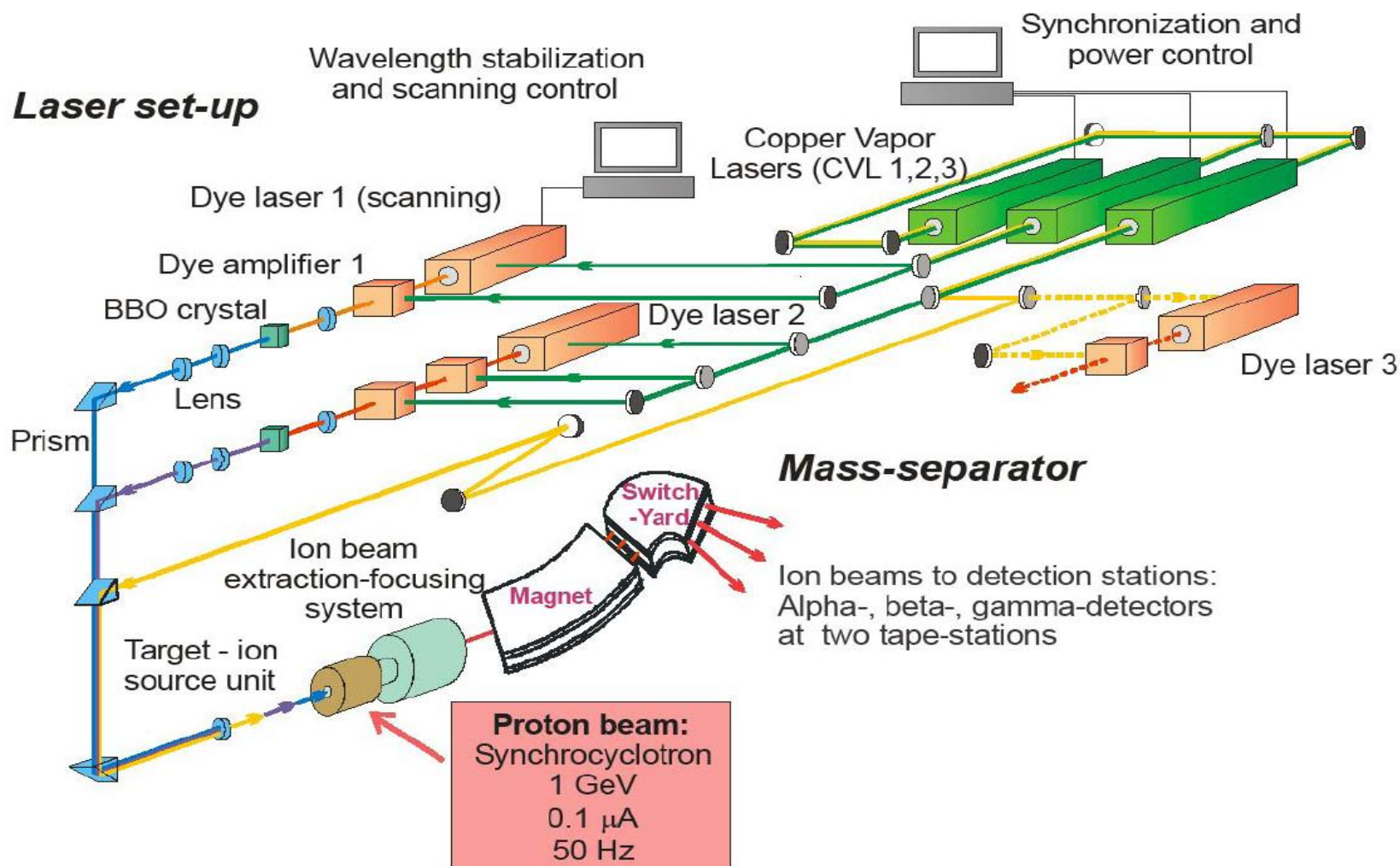
Мишени: фольги тугоплавких металлов, расплавленные металлы, карбиды металлов; ²³⁸U для получения изотопов, распадающихся β^- распадом

Ионные источники: плазменные, поверхностной ионизации, высокоселективный лазерный ионный источник

Получаемые изотопы: изотопы большинства элементов Периодической системы с периодами полураспада миллисекунды-годы

Главные цели: ядерно-физические исследования; с 2010 г. разработка методов получения радионуклидов для ядерной медицины

Схема новой лазерной установки УЛИСС

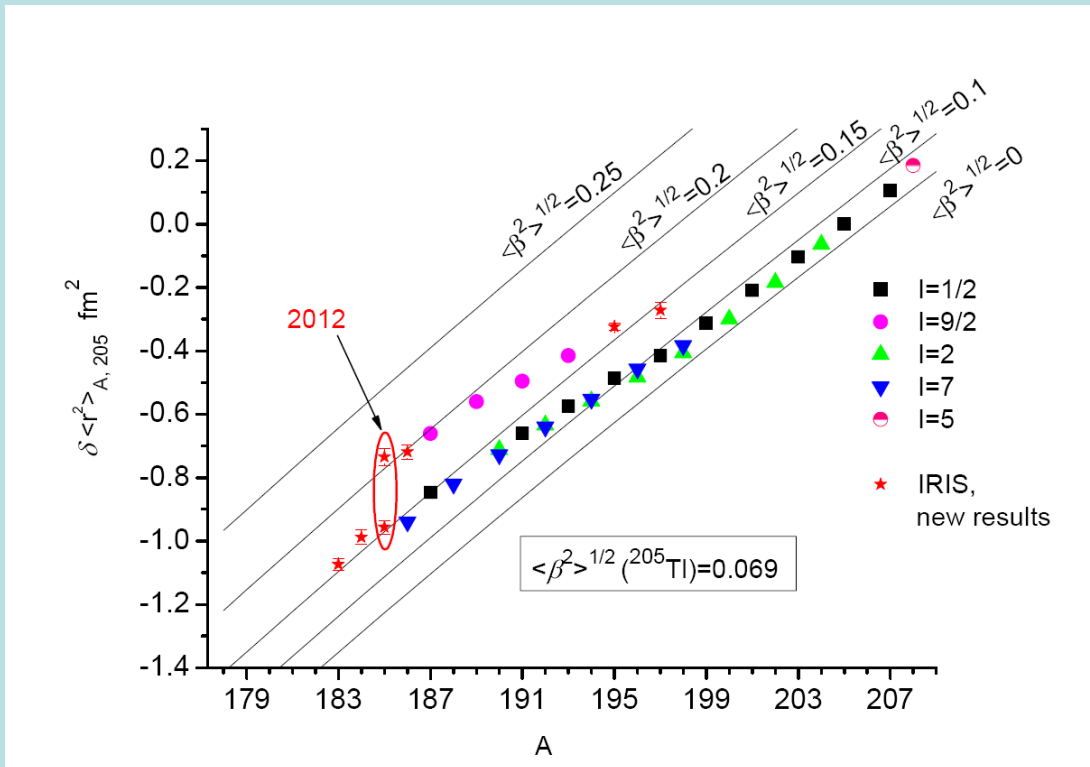


Основные направления работ ЛКЯ в 2012 году:

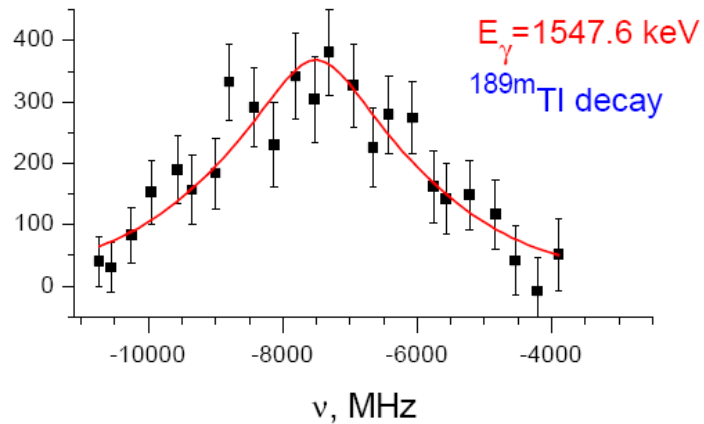
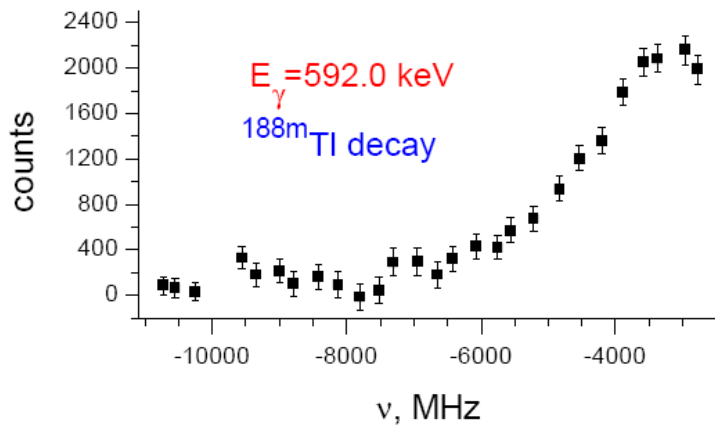
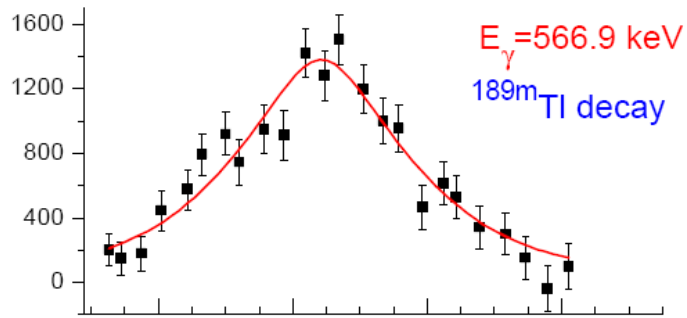
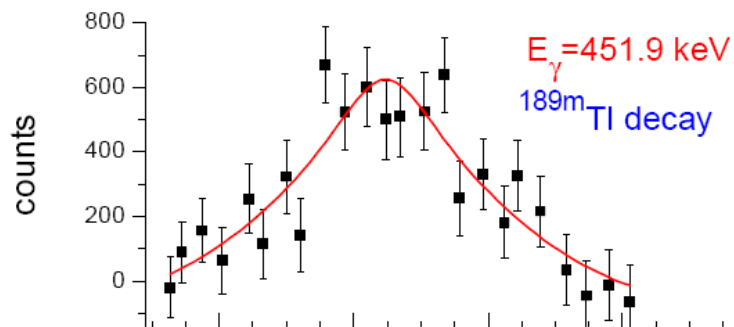
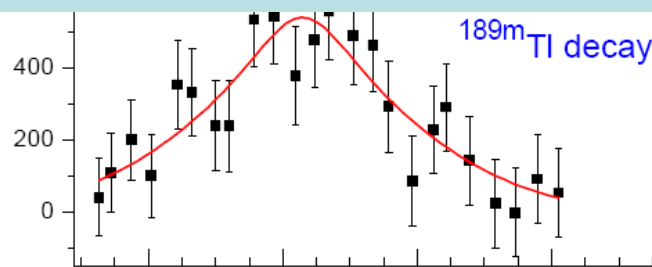
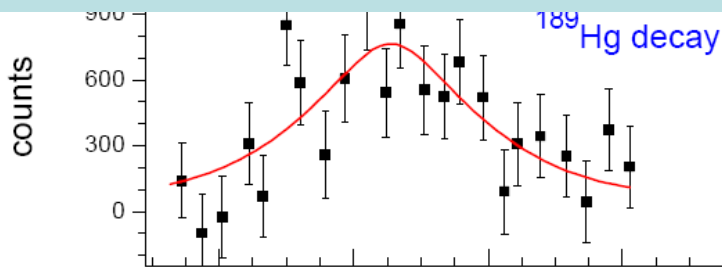
1. Завершение исследований изотопических сдвигов и сверхтонкой структуры изотопов Tl на установке УЛИСС и проведение лазерно-спектроскопических исследований на установке ISOLDE
2. Работа над проектом РИЦ-80
3. Разработка и исследование новых мишенных веществ. Тесты по выделению генераторного изотопа ^{82}Sr из облученных ниобиевой, иттриевой и рубидиевой мишеней, приготовление генераторного изотопа Sr-82 для испытаний в РИЦ РХТ. Исследование мишенных веществ для РИЦ-80 (договор с НПО "ЛУЧ", РОСАТОМ)
4. Проект ИРИНА

Лазерная спектроскопия на установке ИРИС-УЛИСС

1. Улучшена статистика и уточнено значение дифференциальной аномалии сверхтонкой структуры
2. Закончена обработка данных по радиусам опубликовано 2 статьи, готовится еще одна, итоговая. В этом году получены данные для ^{185}Tl .
3. Установлены ранее неизвестные 30 гамма-линий ^{189}Hg (бета-распад ^{189}Tl).
4. Начата подготовка к измерению изотопсдвигов и сверхтонкой структуры изотопов Bi .

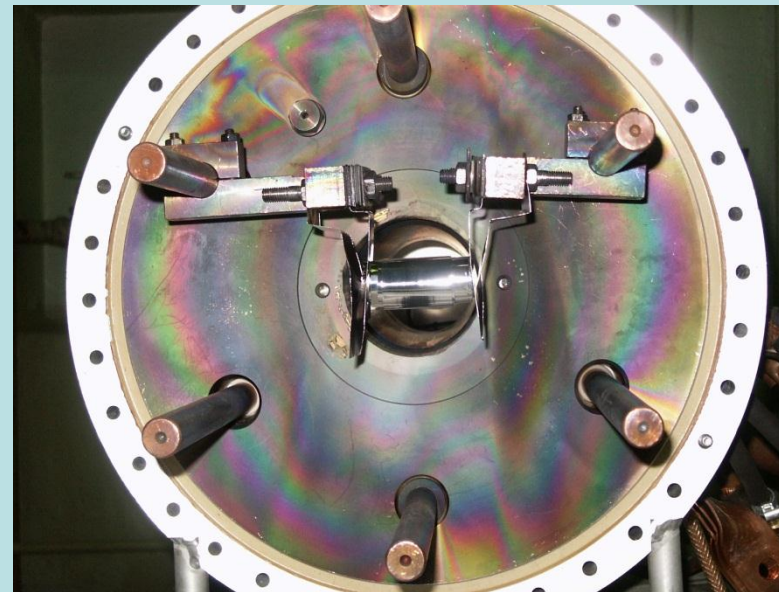
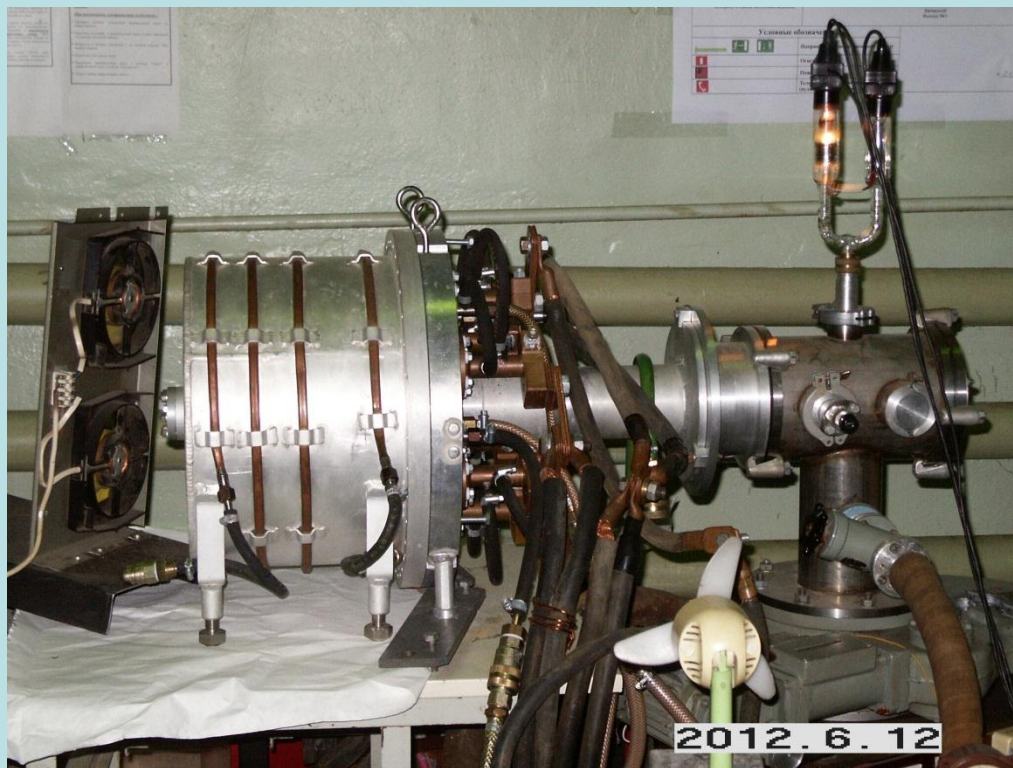


Новые измеренные гамма - линии ^{189}Hg , после β -распада ^{189}Tl



**Исследование и разработка новых мишенно-ионных устройств
для ядерно-физических экспериментов и медицины**

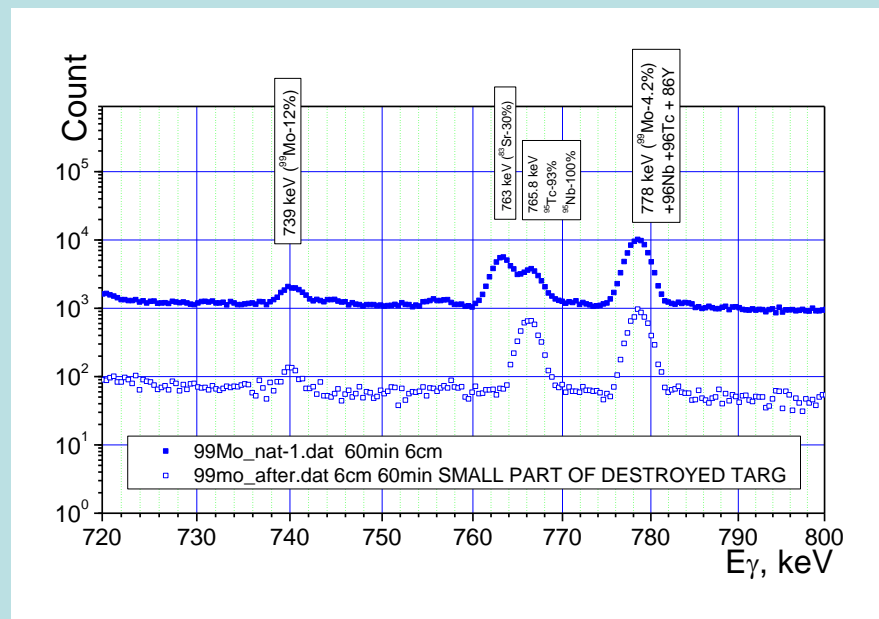
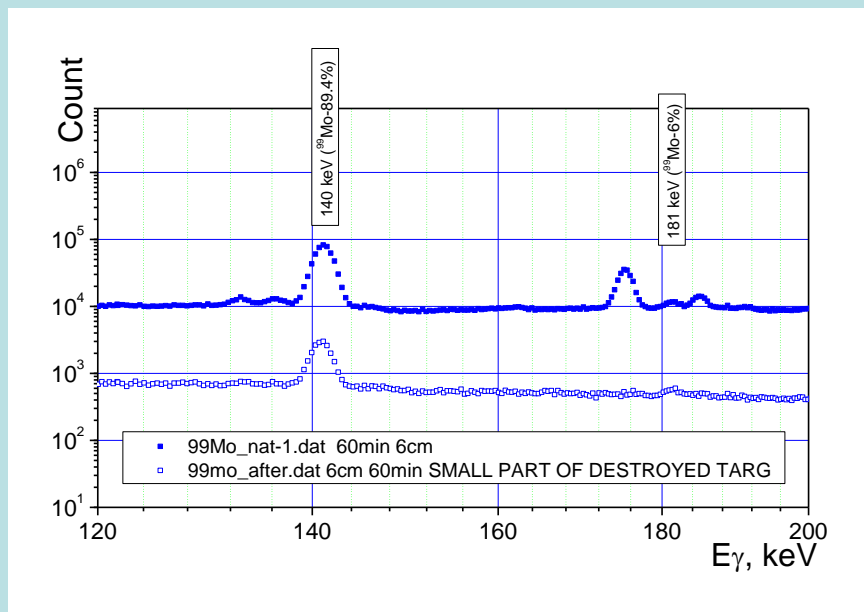
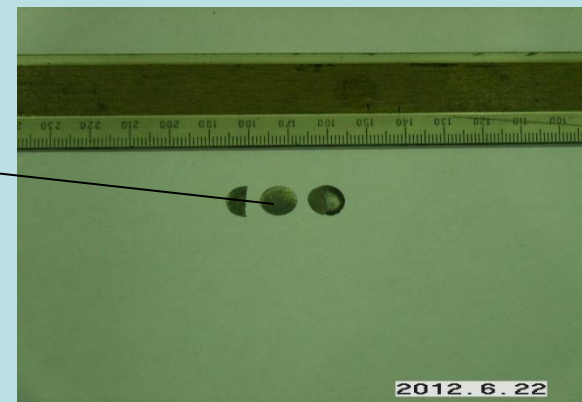
Высоковакуумный стенд и высокотемпературное мишенное устройство для тестирования новых мишенных веществ



Исследовались мишенные вещества для установок РИЦ-80 и ИРИНА, изготовленные по нашему заказу в НПО "ЛУЧ" : **обогащенный ^{100}Mo , карбонитрид ^{238}U , карбид циркония, дикарбид иттрия, а также фольги ниобия и порошок RbCl .**

Выделение ^{99}Mo из облученного молибденового диска, приготовленного методом центрифужного разделения изотопов.

Диски
обогащенного
 ^{100}Mo ,
Тпл = 2623 °С.
Производство
НПО "ЛУЧ"

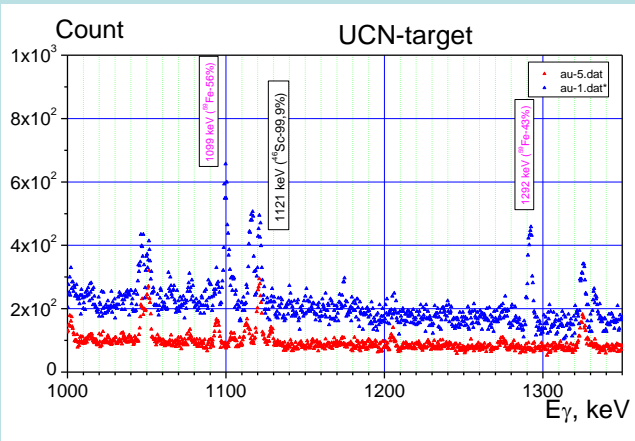
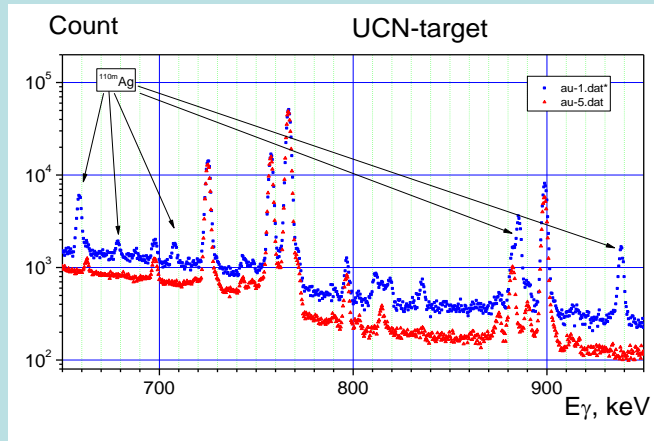
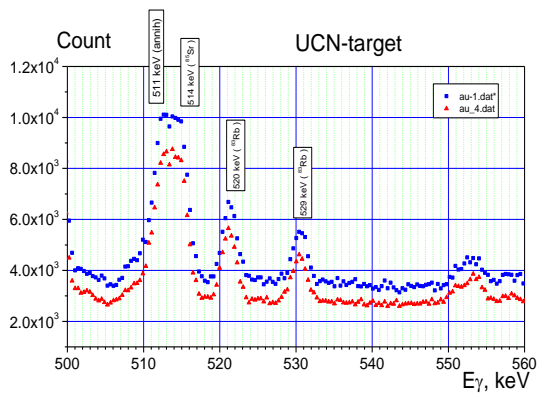
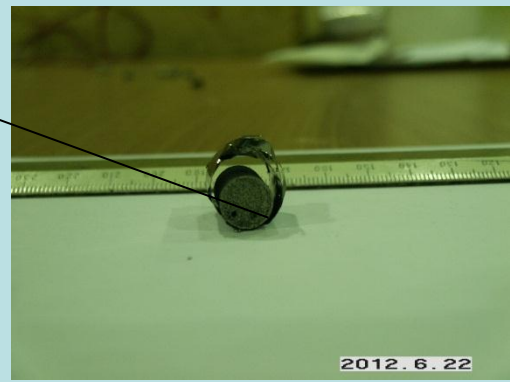


E_γ	181.2	740.3
S_γ до нагрева	7 113	74 853
S_γ после нагрева	588	9 634

За время $t = 2$ ч. при температуре 2500 °С из облученного образца вылетает около 90% ^{99}Mo

Выделение радионуклидов из облученного стержня карбонитрида урана, приготовленного методом высокотемпературного спекания

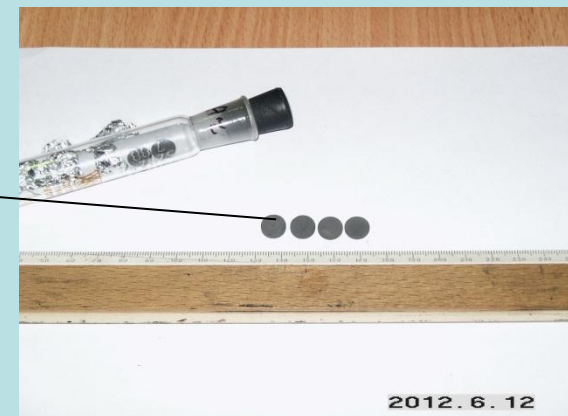
Образец карбонитрида урана
Тпл = 2900 °С.
Производство НПО "ЛУЧ"



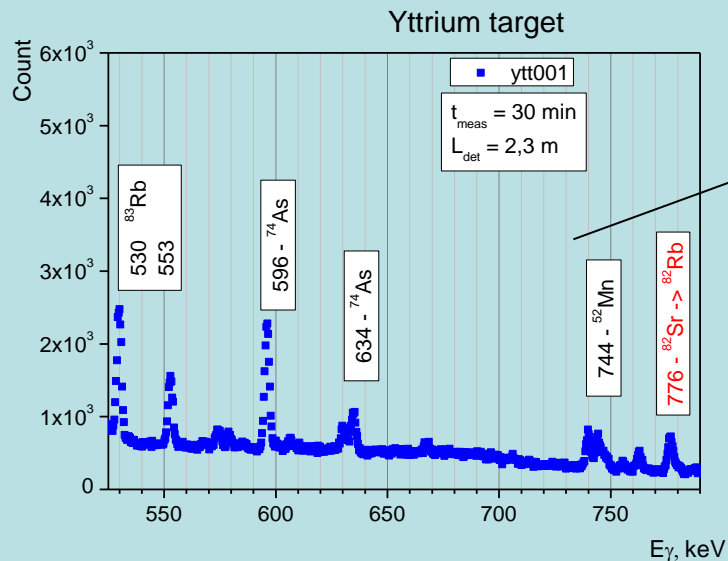
нуклид	Sr-85	Rb-83	Zr-95	Nb-95		
Eγ (кэВ)	514	520	530	725	758	767
Sγ до нагрева	52624	25842	16823	118626	146319	469421
Sγ после нагрева	25413	17177	11428	97984	122341	389441
Доли улеч. (%)	52	34	32	17	16	17

За время t = 4 ч. при температуре 2150 °С из облученного образца вылетает 52% ⁸⁵Sr, 34% ⁸⁵Rb и около 17% изотопов Zr и Nb.

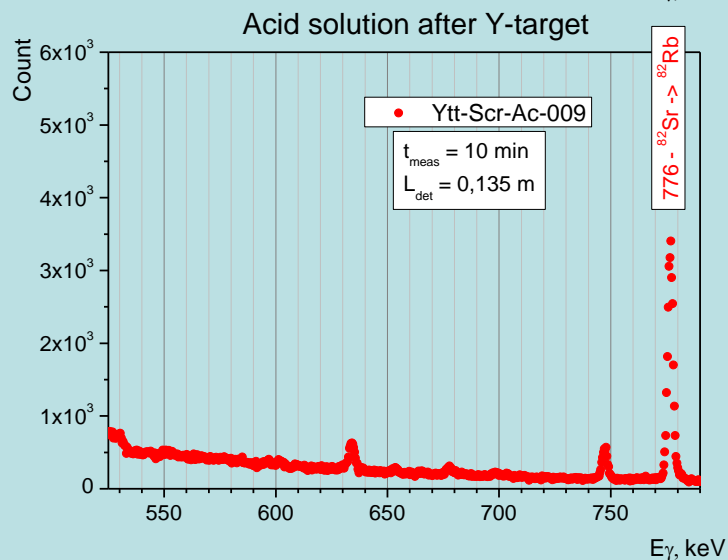
Выделение радионуклидов из облученных дисков дикарбида иттрия, приготовленных методом высокотемпературного спекания



Диски дикарбида иттрия
Тпл = 2000 °С.
Производство НПО "ЛУЧ"



Гамма-спектр облученной мишени дикарбида иттрия



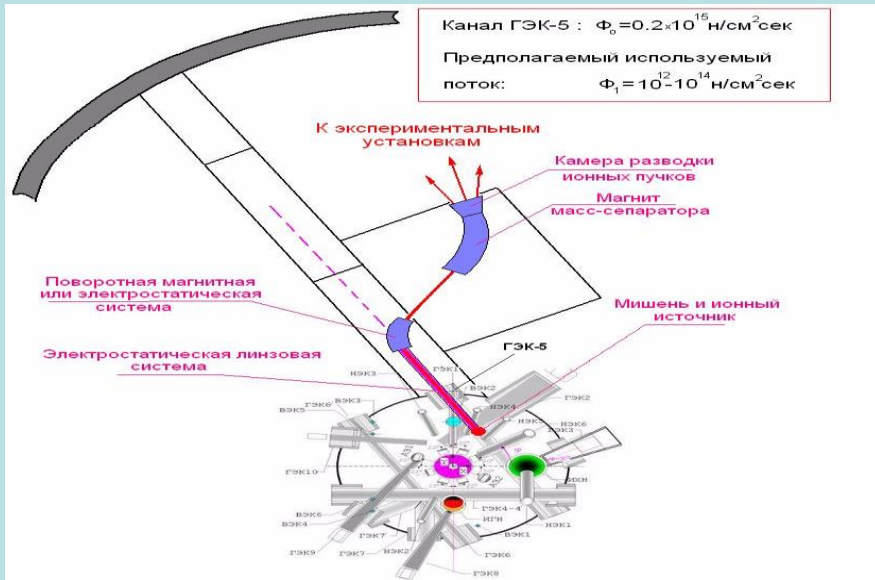
Гамма спектр выделенного из мишени ^{82}Sr для испытаний Sr/Rb генератора в РНЦ РХТ

19 декабря специально приготовленный хлорид стронция передан в РНЦ РХТ для тестов Sr/Rb генератора

Все высокотехнологичные высокотемпературные мишенные вещества были изготовлены во ФГУП НПО "ЛУЧ" (РОСАТОМ) в рамках договора между НПО "ЛУЧ" и ПИЯФ по созданию и исследованию высокотемпературных мишенных веществ для установок РИЦ-80 и ИРИНА. По условиям данного договора ПИЯФ получил в 2012 г. **4,7 млн. руб.** В соответствии с договором по нашему заказу были изготовлены и поставлены уникальные мишенные вещества, которые исследовались на нашем ускорителе и в перспективе будут использованы на радиоизотопном комплексе РИЦ-80 и установке ИРИНА. В настоящее время в РОСАТОМ подана заявка на заключение договора ЛУЧ -ПИЯФ на **5 млн. руб.** на 2013 г.

**Проект ИРИНА (Исследование Радиоактивных Изотопов
на нейтронАх) на реакторе ПИК**

Установка ИРИНА (Исследование Радиоактивных Изотопов на нейтронах) на реакторе ПИК



На реакторе, обеспечивающем поток тепловых нейтронов выше 10^{13} n/cm²сек, можно получить самые высокие выходы крайне удаленных нейтронно-избыточных ядер

В мишени из 4 г ^{235}U при потоке 3×10^{13} n/cm²сек
Скорость образования референсного изотопа ^{132}Sn 10^{12} ат/сек

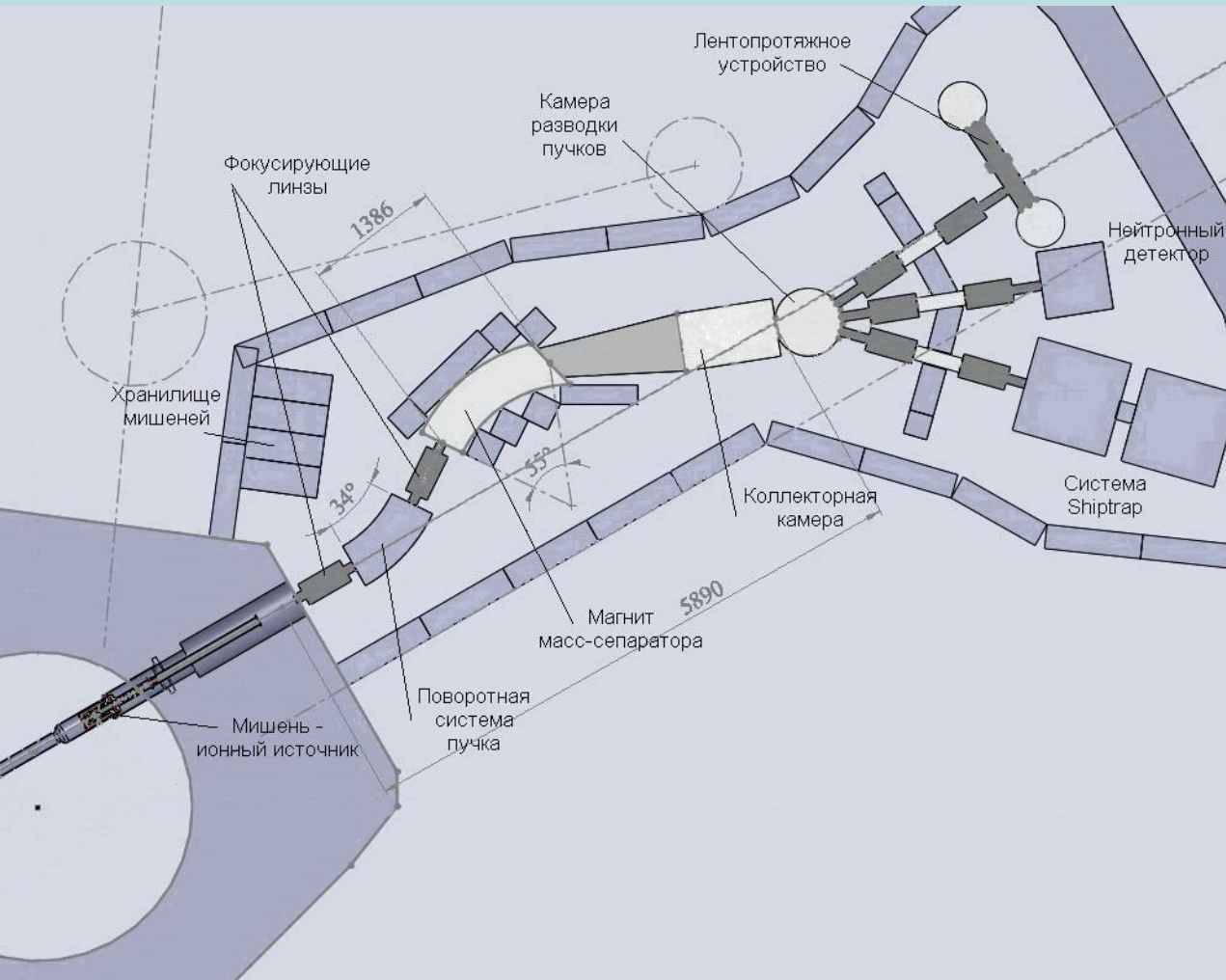
На проектируемой установке EURISOL при протонном токе 5mA в мишени ^{238}U толщиной 200 г/cm² в прямой реакции образуется $\approx 10^{12}$ атомов ^{132}Sn ,

Для проекта SPIRAL-2 (протоны 100 MeV, 1mA, C-конвертер, пуск в 2014 г.):

$\approx 10^{11}$ атомов ^{132}Sn в мишени 400 г ^{238}U

Установка ИРИНА будет обеспечивать самые высокие в мире выходы нейтронно-избыточных радионуклидов

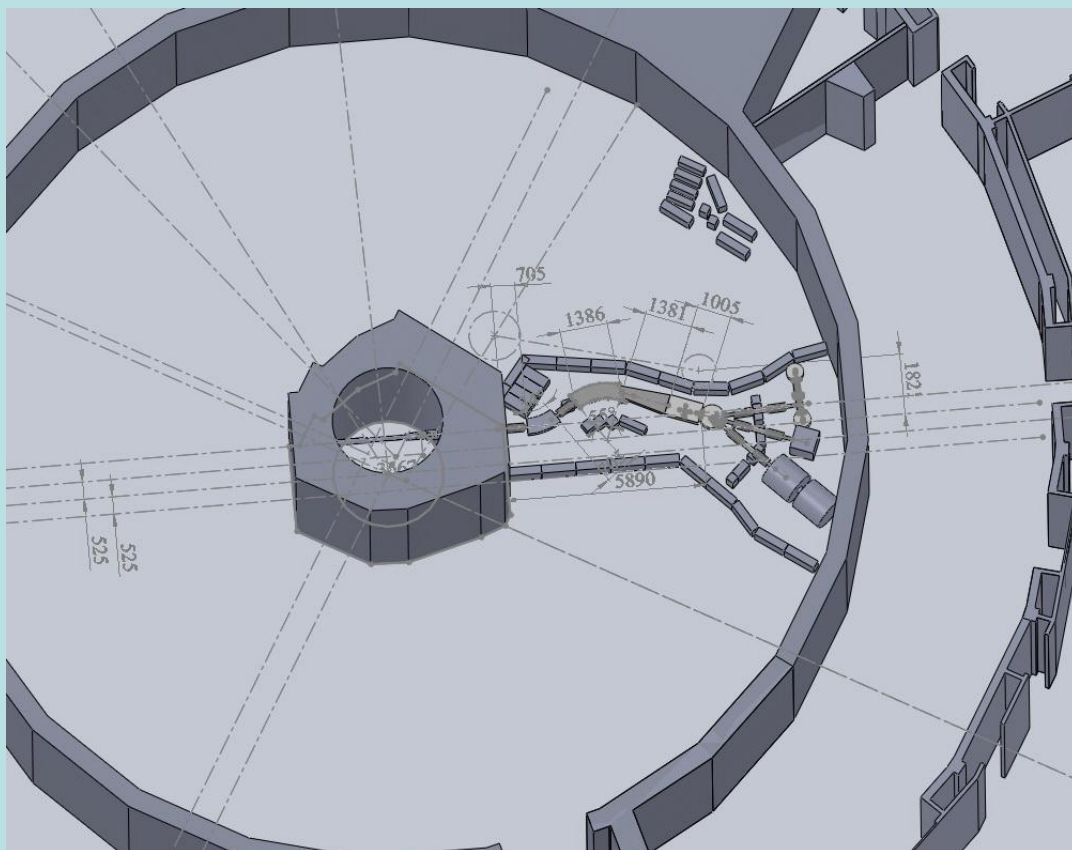
Проект ИРИНА (Исследование Радиоактивных Изотопов на НейтронАх)



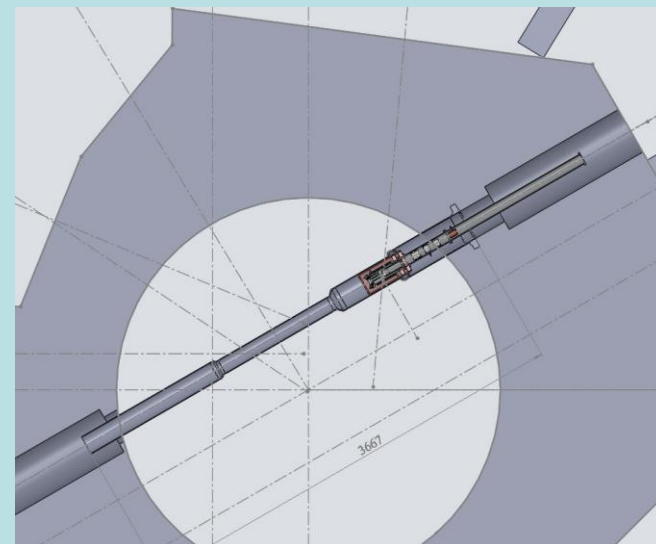
**Масса мишени 3- 4 г ^{235}U ;
поток нейтронов в месте
мишени $(3-5)\times 10^{13}$ н/см²сек;
мишень из карбида
высокообогащенного
урана-235**

**Лазерный ионный источник;
твёрдотельные лазеры накачки;
система умножения и
сканирования частоты для
проведения измерений
изотопических сдвигов и
сверхтонкой структуры
исследуемых ядер**

**Ионная ловушка SHIPTRAP для
прецизионного измерения масс
ядер вблизи границы нуклонной
стабильности**

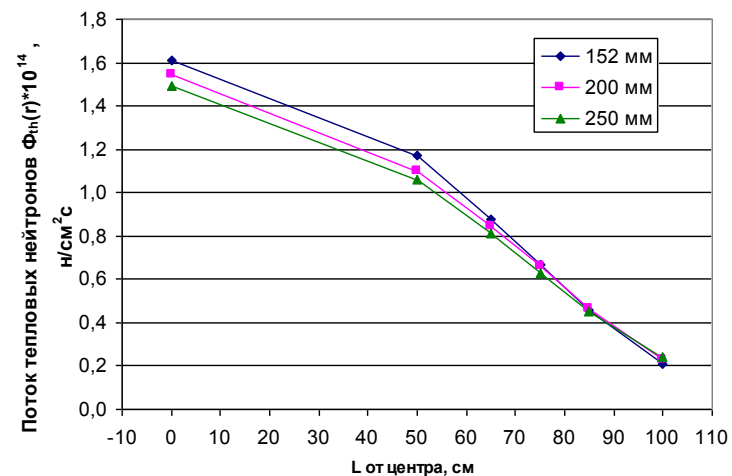


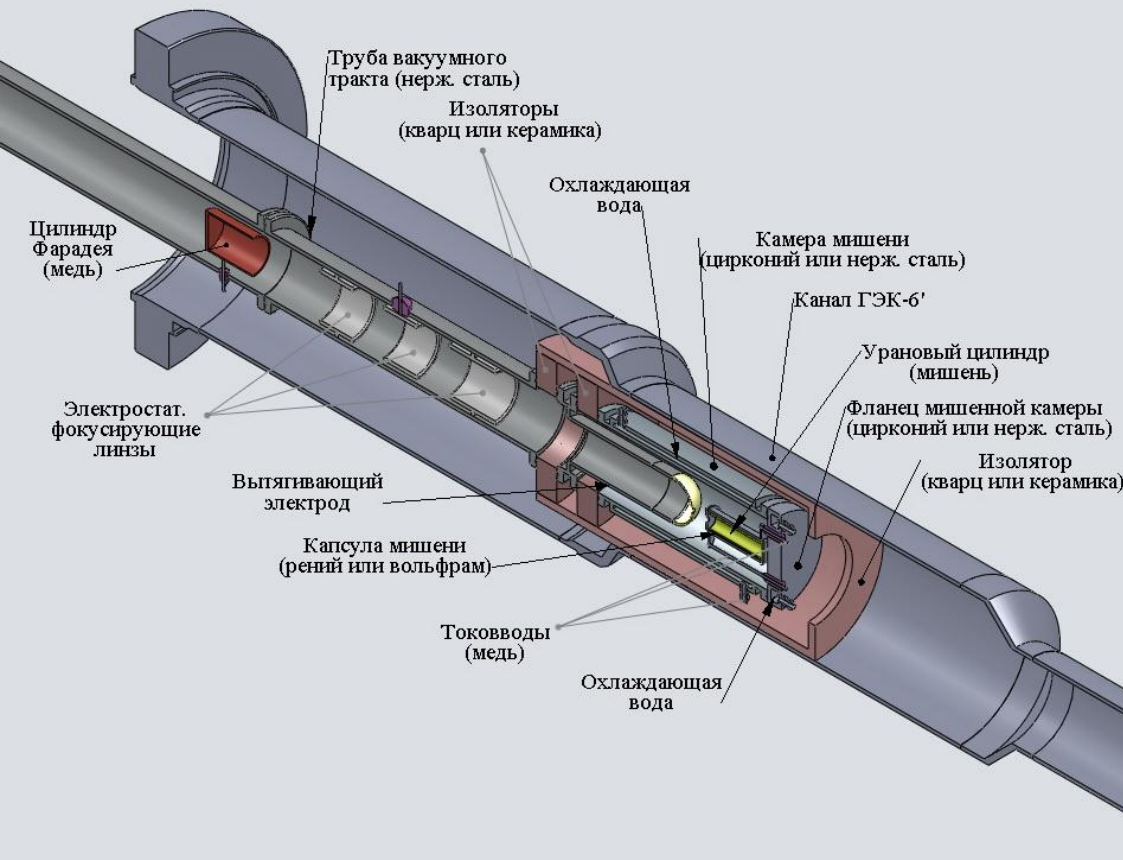
Общий вид установки ИРИНА в экспериментальном зале реактора ТИК.



Канал ГЭК-6-6'

Поток тепловых нейтронов на оси горизонтального канала ГЭК 5 $\Phi_{th}(r) \cdot 10^{14}$ н/см²с





Мишень-ионный источник установки ИРИНА с ионо-оптической системой в канале ГЭК-6'

Временная шкала работ по проекту

2010-2013г.г.

Разработка и тестирование на пучке синхроциклотрона ПИЯФ мишенно-ионных устройств на основе U-238.

2013

Создание и испытание на ИРИСе прототипа ионо-оптической системы установки ИРИНА. Создание проекта установки.

2014-2016

Строительство установки и ее физический запуск.

2016-2018

Работа установки на получение Физических результатов.

~2018

Замена трубы канала ГЭК-6-6'

Финансирование в 2012 году:

Для проведения работ по программе ИРИС-ISOLDE в 2012 г.
получено: **1,3 млн. руб.** – ПИЯФ НИЦКИ

8000 \$ - Мин.обр. РФ

Командировки на ISOLDE всего: **220 ч/д**

58 ч/д - Мин.Обр. РФ

162 ч/д – CERN, ISOLDE

Для проведения работ по проекту ИРИНА
финансирование ПИЯФ НИЦКИ – **0 руб.**

По договору ПИЯФ – НПО ЛУЧ (РОСАТОМ) получено
4,7 млн. руб.

Публикации и конференции

1. New laser setup for the selective isotope production and investigation in a laser ion source at the IRIS (Investigation of Radioactive Isotopes on Synchrocyclotron) facility

A. E. Barzakh, D. V. Fedorov, V. S. Ivanov, P. L. Molkanov, V. N. Panteleev, and Yu. M. Volkov

Rev. Sci. Instrum. 83, 02B306 (2012)

2. Hyperfine structure anomaly and magnetic moments of neutron deficient TI isomers with $I = 9/2$

A. E. Barzakh, L. Kh. Batist, D. V. Fedorov, V. S. Ivanov, K. A. Mezilev, P. L. Molkanov, F. V. Moroz, S. Yu. Orlov, V. N. Panteleev, and Yu. M. Volkov

Physical Review C **86**, 014311 (2012)

Конференции:

6th International Conference on Laser Probing. Paris, 4-8 June 2012 (LAP-2012) New laser setup at the IRIS facility.

Magnetic moments and mean squared charge radii of neutron deficient TI isotopes.

A.E. Barzakh, D. V. Fedorov, V. S. Ivanov, K. A. Mezilev, P. L. Molkanov, F. V. Moroz, S. Yu. Orlov, V. N. Panteleev, Yu. M. Volkov

XXIII Russian Particle Accelerator Conference (RuPAC-2012) Sept. 24-28, 2012, Saint-Petersburg, Russia.

Project of the radioisotope facility RIC-80 at cyclotron C-80 at PNPI.

V.N. Panteleev, A.E. Barzakh, L.Kh. Batist, D.V. Fedorov, A.M. Filatova, V.S. Ivanov, K.A. Mezilev, F.V. Moroz, P.L. Molkanov, S.Yu. Orlov, Yu. M. Volkov, PNPI, NRC Kurchatov Institute, Gatchina, 188300, Russia

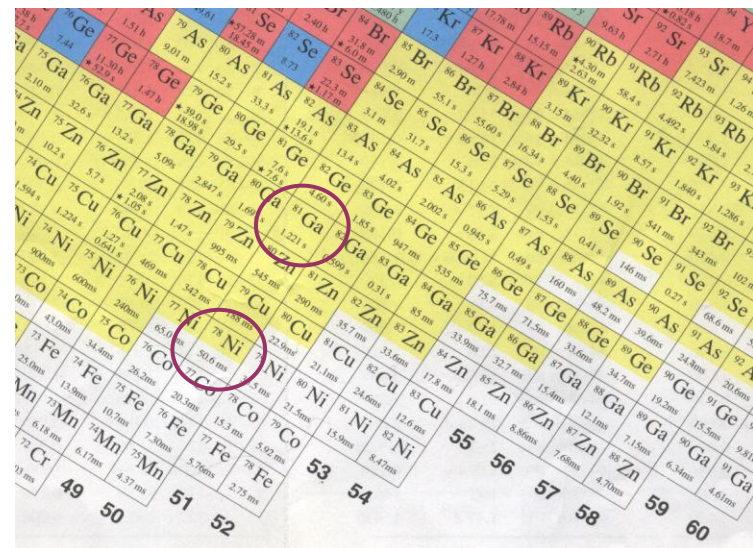
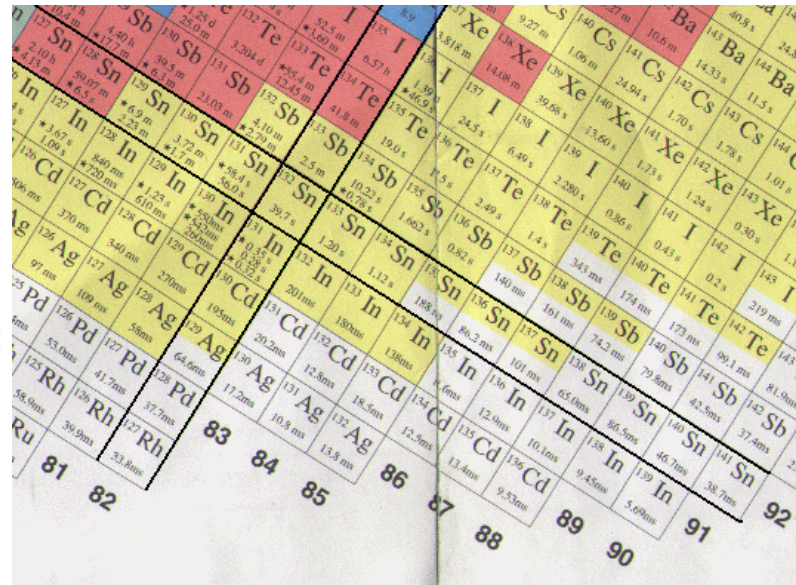
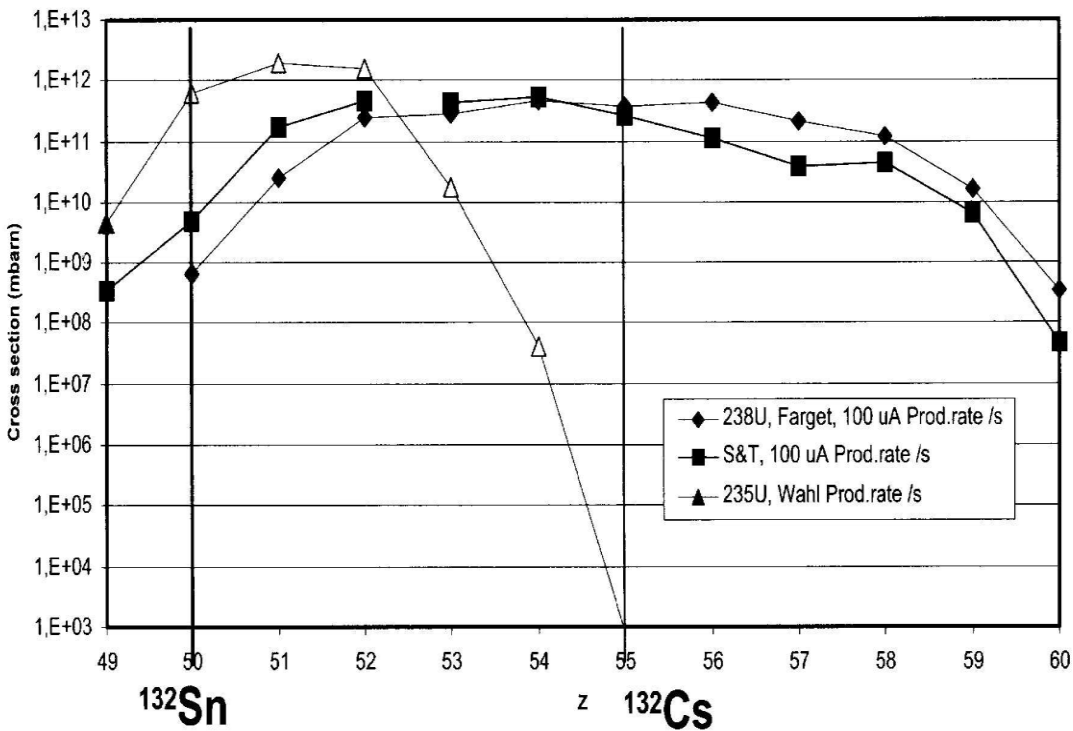
E.K. Dyakov, I.B. Savvatimova, RISPА "LUCH", Podolsk, 142100, Russia

Научно-практическая конференция "Ускорители частиц и радиационные технологии - для будущего России", 28 сентября 2012 г., Санкт-Петербург.

The project of RIC-80 (Radioactive Isotopes at cyclotron C-80) facility at PNPI.

V.N. Panteleev, A.E. Barzakh, L.Kh. Batist, D.V. Fedorov, A.M. Filatova, V.S. Ivanov, K.A. Mezilev, F.V. Moroz, P.L. Molkanov, S.Yu. Orlov, Yu. M. Volkov.

Production rates for mass 132



Получение на тепловых нейтронах нейтронно-избыточных ядер в районе дважды магических ядер ^{132}Sn и ^{78}Ni позволяет снизить на несколько порядков вклад соответствующих изобар Cs и Rb по сравнению с получением на протонах

Расчетные выходы ISOL системы PIAFE
 на реакторе в Гренобле (мишень - 4 г ^{235}U
 нейтронный поток - 3×10^{13} н/см²сек)

PIAFE yields

Ion beam intensities
 after mass separation
 (ions per s)

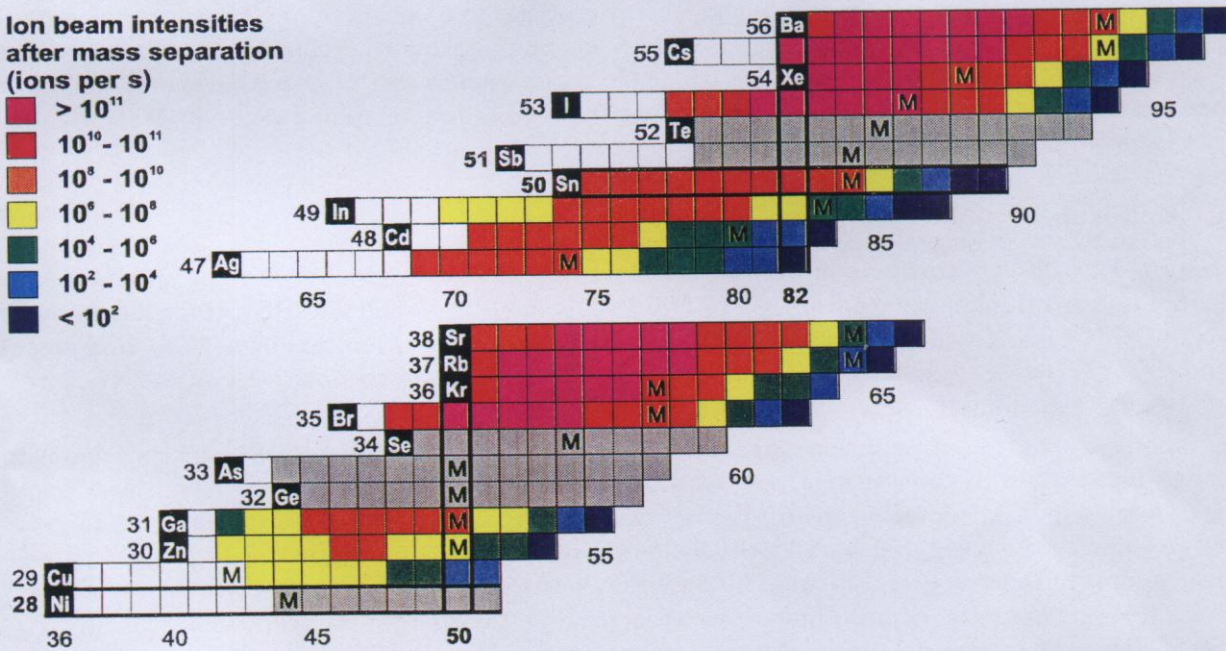
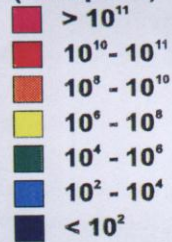
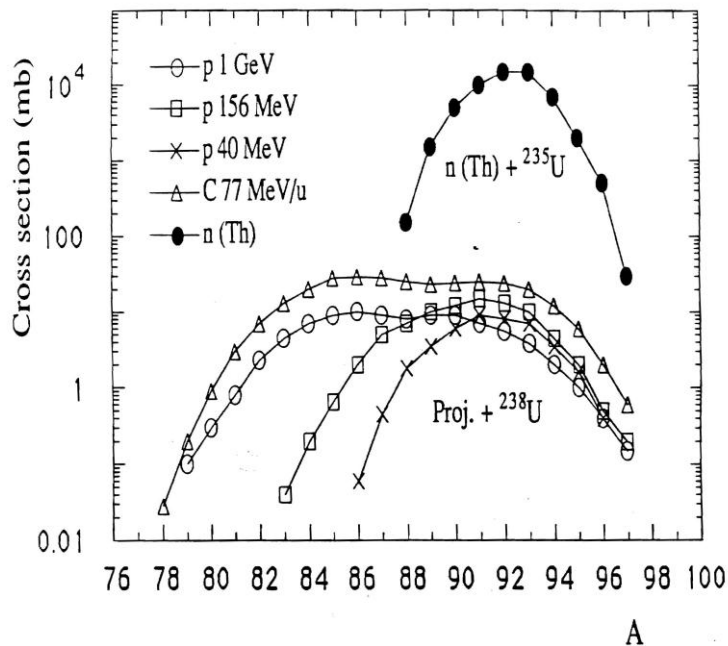


Figure 15: The figure shows estimated ion yields of PIAFE after mass separation. Isotopes where too few information was available for a reliable yield estimate are marked in grey. The black boxes indicate the most neutron rich stable isotopes. The heaviest isotopes, for which the mass was experimentally determined [9] are marked by a "M".

Сравнение расчетных выходов (в мишени) установки ИРИНА и SPIRAL2



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

Из приведенной таблицы видно что, для большинства крайне удаленных нейтронно-избыточных изотопов выходы на установке ИРИНА выше, чем на установке SPIRAL2, физический запуск которой планируется в 2014 г. и которая, согласно сегодняшним оценкам, будет иметь самые высокие выходы нейтронно-избыточных изотопов.

Другие радионуклиды

Из облученных на протонном пучке мишеней: ниобиевых фольг, **УС** высокой плотности, жидкого **Pb**, соли **RbCl**, жидкой **меди** выделены долгоживущие изотопы более 35-ти элементов от ${}^7\text{Be}$ до ${}^{233}\text{Pa}$ (протактиний)

${}^7\text{Be}$	${}^{195}\text{Au}$
${}^{46}\text{Sc}$	${}^{202}\text{Tl}$
${}^{51}\text{Cr}$	${}^{206}\text{Bi}$
${}^{54}\text{Mn}$	${}^{228}\text{Th}$
${}^{56}\text{Co}$	${}^{233}\text{Pa}$
${}^{59}\text{Fe}$	
${}^{65}\text{Zn}$	
${}^{74}\text{As}$	
${}^{75}\text{Se}$	
${}^{83}\text{Rb}$	
${}^{82}\text{Sr}$	
${}^{85}\text{Sr}$	
${}^{88}\text{Y}$	
${}^{91}\text{Nb}$	
${}^{95}\text{Zr}$	
${}^{102}\text{Rh}$	
${}^{103}\text{Ru}$	
${}^{110}\text{Ag}$	
${}^{115}\text{Cd}$	
${}^{117}\text{Sn}$	
${}^{121}\text{Te}$	
${}^{125}\text{Sb}$	
${}^{127}\text{Xe}$	
${}^{136}\text{Cs}$	
${}^{140}\text{Ba}$	
${}^{141}\text{Ce}$	
${}^{144}\text{Pm}$	
${}^{148}\text{Eu}$	
${}^{171}\text{Lu}$	
${}^{175}\text{Hf}$	
${}^{185}\text{Os}$	
${}^{188}\text{Pt}$	
${}^{188}\text{Ir}$	

Предложена и экспериментально осуществлена принципиально новая возможность выделения изотопов труднолетучих элементов из легкоплавких мишеней

Состав Лаборатории короткоживущих ядер

1. В.Н. Пантелеев - с. н. сотр., зав. лабораторией
2. Ф.В. Мороз - с. н. сотр., зам. зав. лаб.
3. А.Е. Барзах - вед. н. сотр.
4. Ю.М. Волков - с. н. сотр.
5. В.С. Иванов - ст. н. сотр.
6. В.В. Лукашевич - с. н. сотр.
7. К.А. Мезилев - с. н. сотр.
8. П.Л. Молканов - н. сотр.
9. С.Ю. Орлов - н. сотр.
10. Д.В. Федоров - с. н. сотр.
11. А.М. Филатова - н. сотр.

12. Евцихевич А.В. - слесарь
13. Лемешко Г.Г. - вед. инженер, 1/2 ст.
14. Копченков Н. А. - токарь
15. Паршина В. И. - техник (секретарь), 1/2 ст
16. Федоров Т. Т. - рег. р/ап.
17. Ионан-Басалаева Я. Д. - лаборант (уборщица)