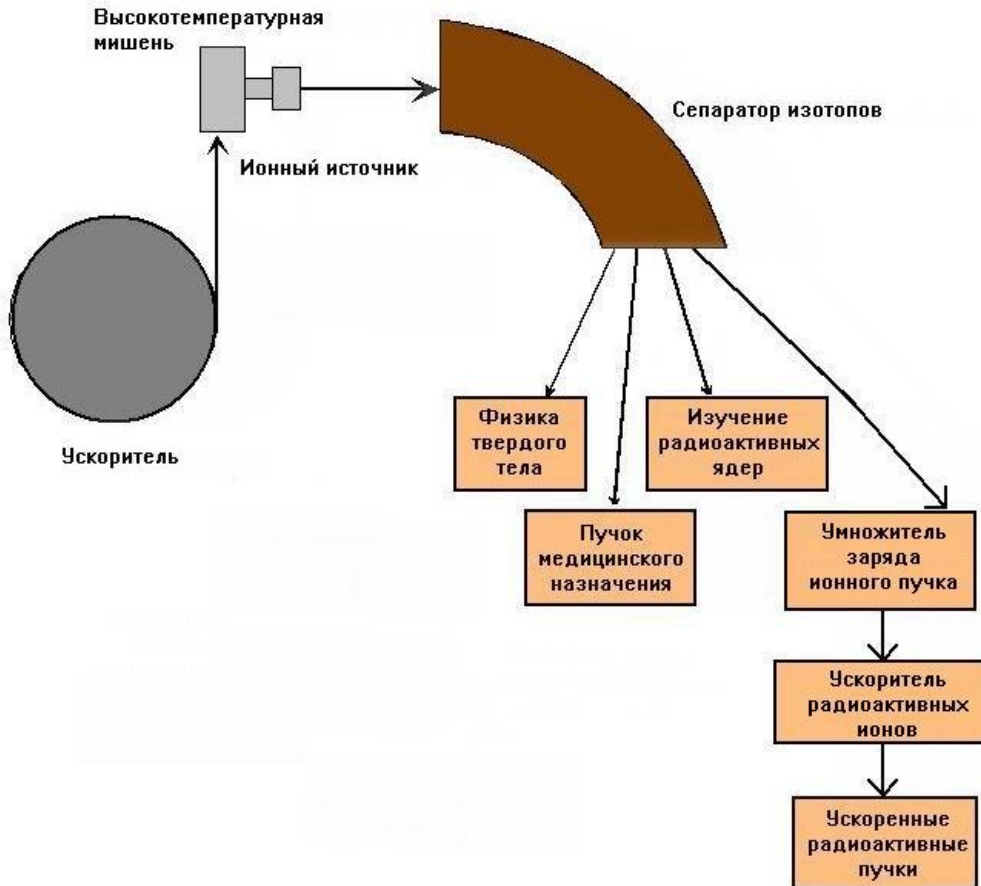


Проект ИРИНА (Исследование Радиоактивных Изотопов на Нейтронах) на реакторе ТИК

В. Пантелеев

Направление 5: “Фундаментальные и прикладные исследования с использованием нейтронов”
Разработка проекта и создание масс-сепараторного лазерного комплекса ИРИНА на реакторе ТИК для исследования нейтронно-избыточных, экзотических ядер удаленных от полосы β -стабильности и разработка методов получения радионуклидов для медицины.

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



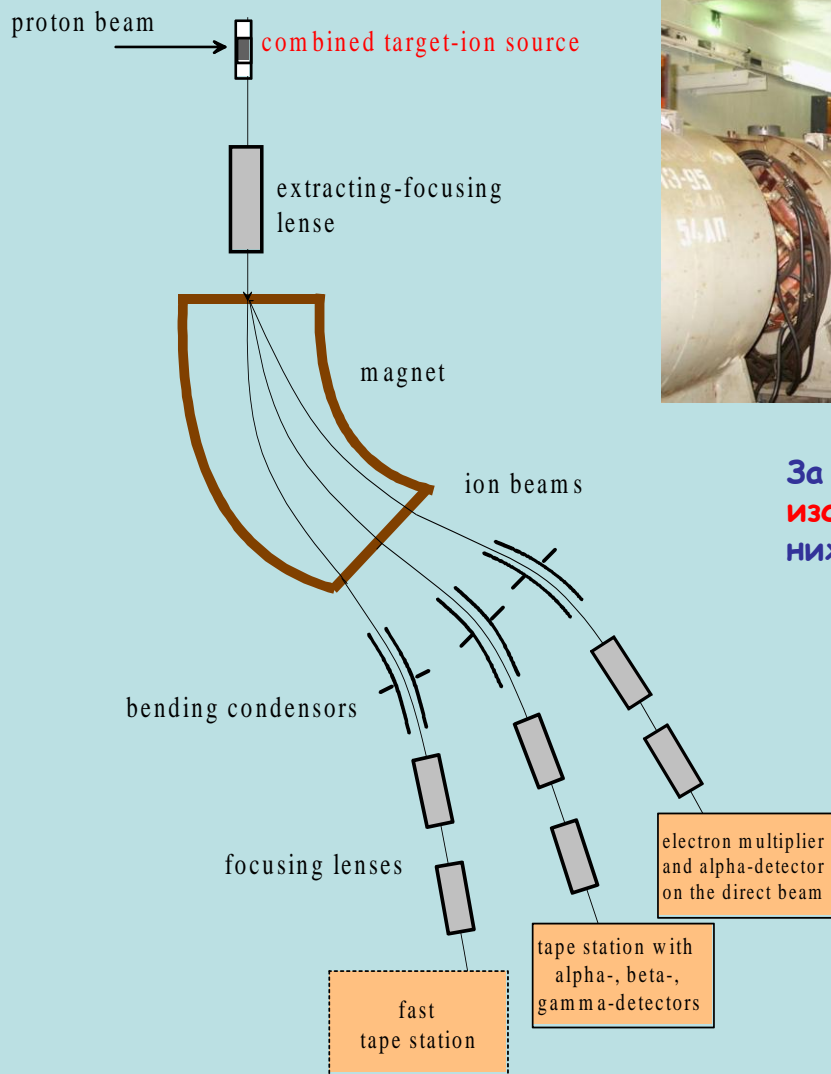
Исследования удаленных ядер:

- Массы ядер
- Радиусы, электромагнитные моменты
- Моды распада
- Фундаментальные взаимодействия
- Астрофизические процессы

Прикладные использования:

- Физика твердого тела
- Получение радионуклидов для медицины

ИРИС (Исследование Радиоактивных Изотопов на Синхроциклотроне) - единственная в России ISOL установка (работает в ПИЯФ с 1975 г.)



За время работы ИРИС исследовано **более 200 изотопов** из различных областей нуклидной карты, **17** из них получены впервые

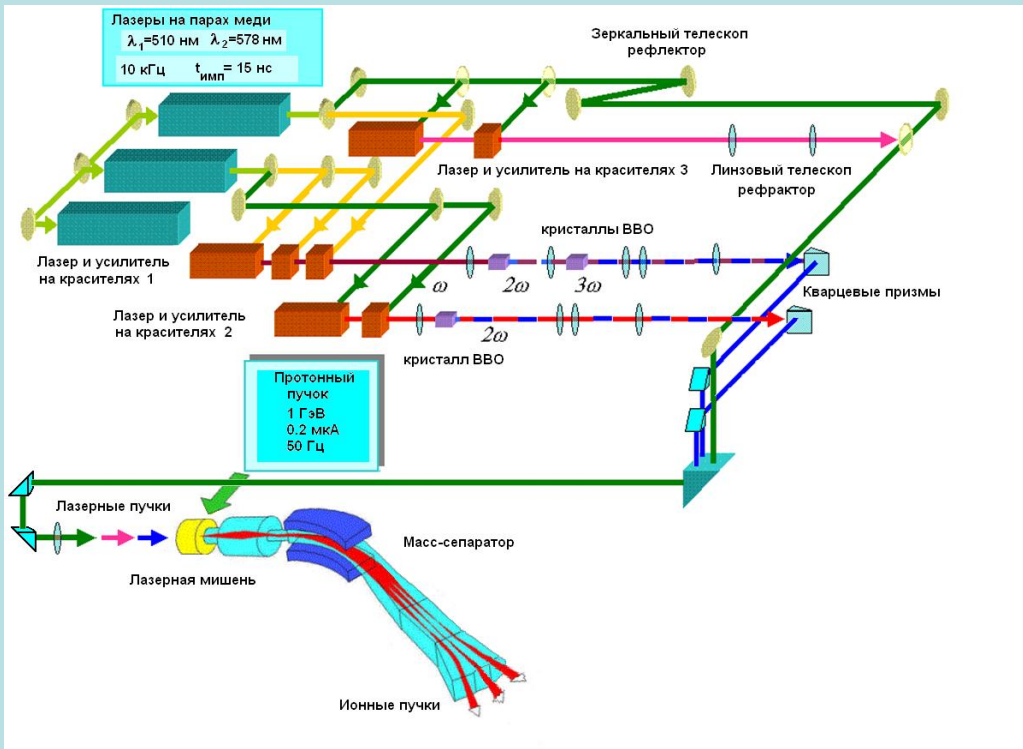
Основные разработки и know-how, которые будут внедрены и использованы на установке ИРИНА

Мишени: *мишень из карбида урана высокой плотности (патент).*

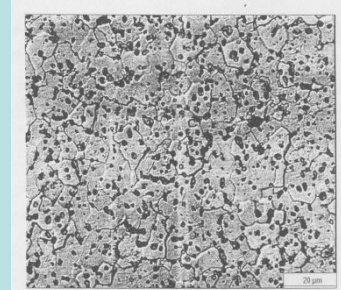
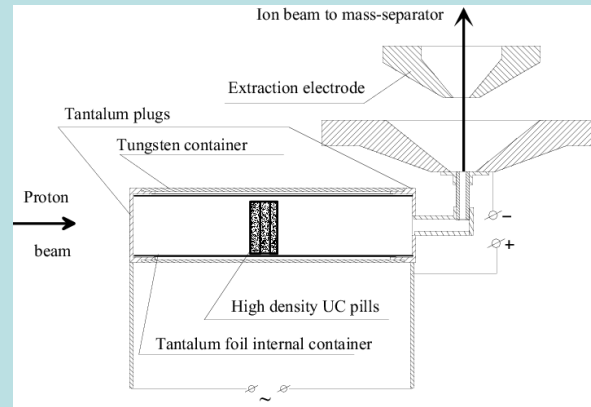
Ионные источники: *высокоселективный лазерный ионный источник (патент).*

Методы исследования удаленных ядер: *метод лазерной ионизационной спектроскопии в лазерном ионном источнике (ИРИС); метод прецизионного измерения масс с использованием ловушек Пеннинга (ЛЭЯ)*

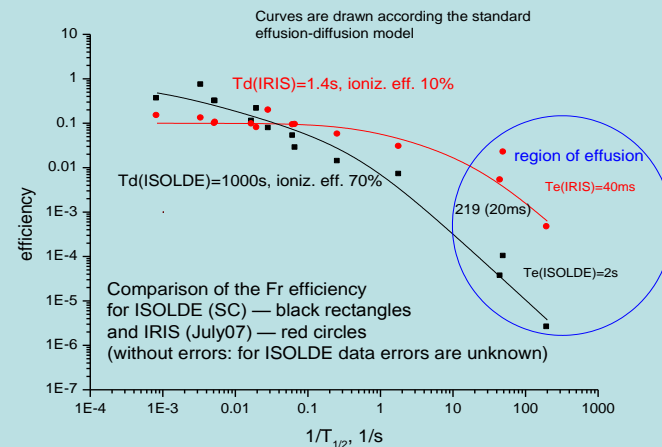
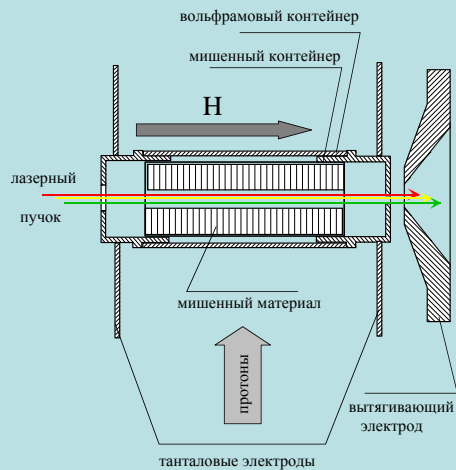
Лазерный комплекс на установке ИРИС



Мишень из ^{238}U , используемая на м.-с. ИРИС

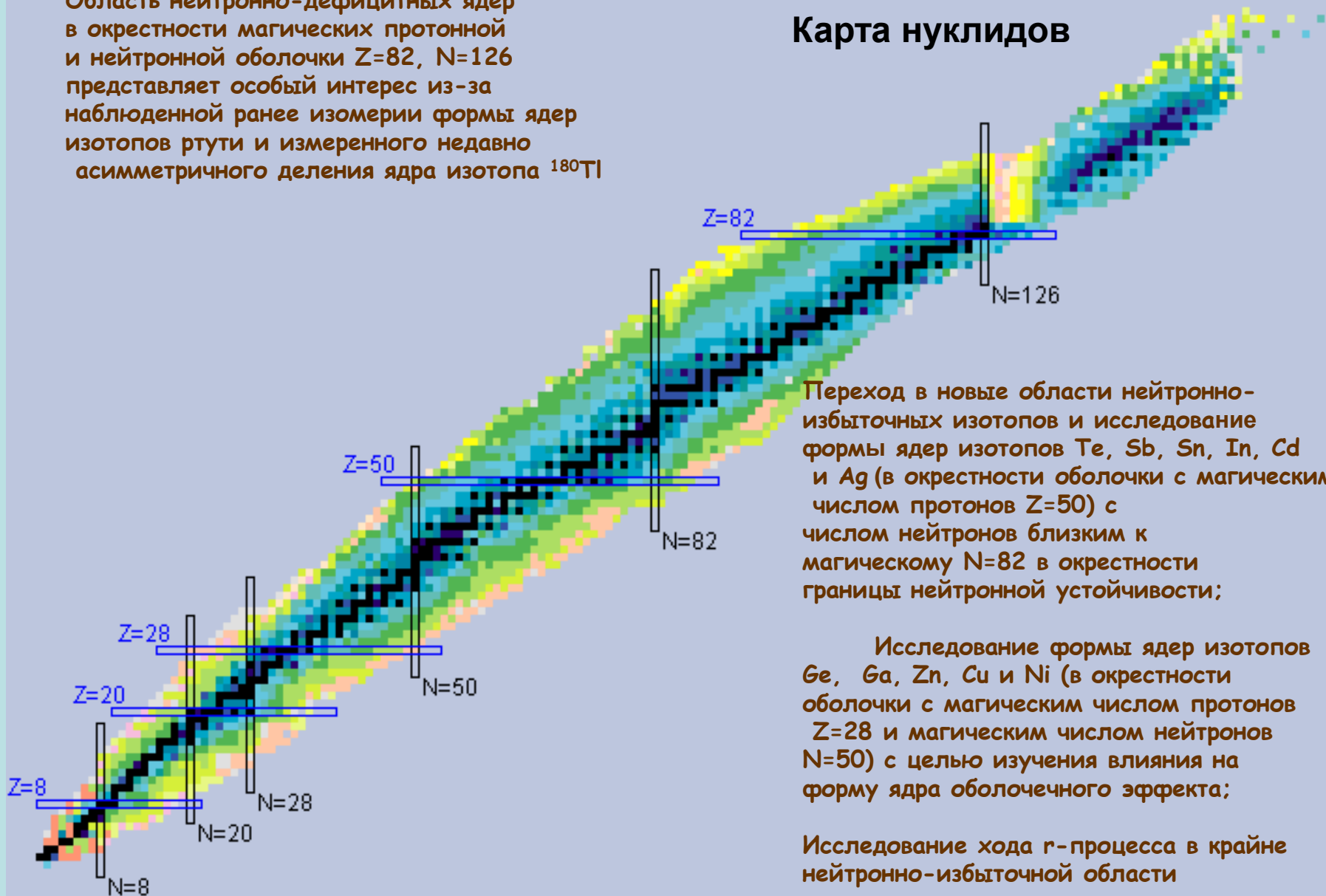


Прототип совмещенной мишени для установки ИРИНА



Область нейтронно-дефицитных ядер в окрестности магических протонной и нейтронной оболочки $Z=82$, $N=126$ представляет особый интерес из-за наблюдаемой ранее изомерии формы ядер изотопов ртути и измеренного недавно асимметричного деления ядра изотопа ^{180}Tl

Карта нуклидов



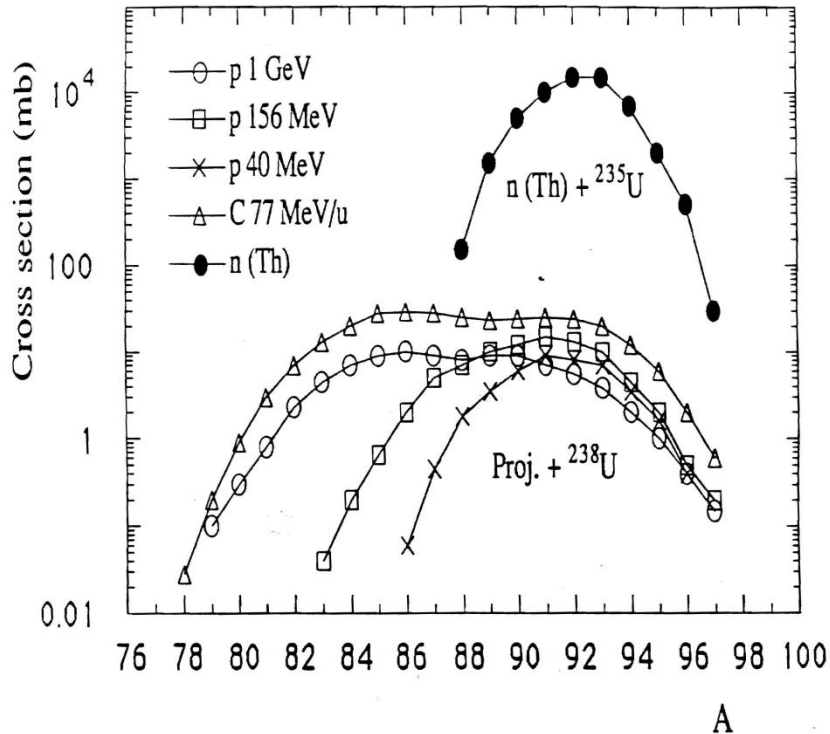
Переход в новые области нейтронно-избыточных изотопов и исследование формы ядер изотопов Te , Sb , Sn , In , Cd и Ag (в окрестности оболочки с магическим числом протонов $Z=50$) с числом нейтронов близким к магическому $N=82$ в окрестности границы нейтронной устойчивости;

Исследование формы 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;

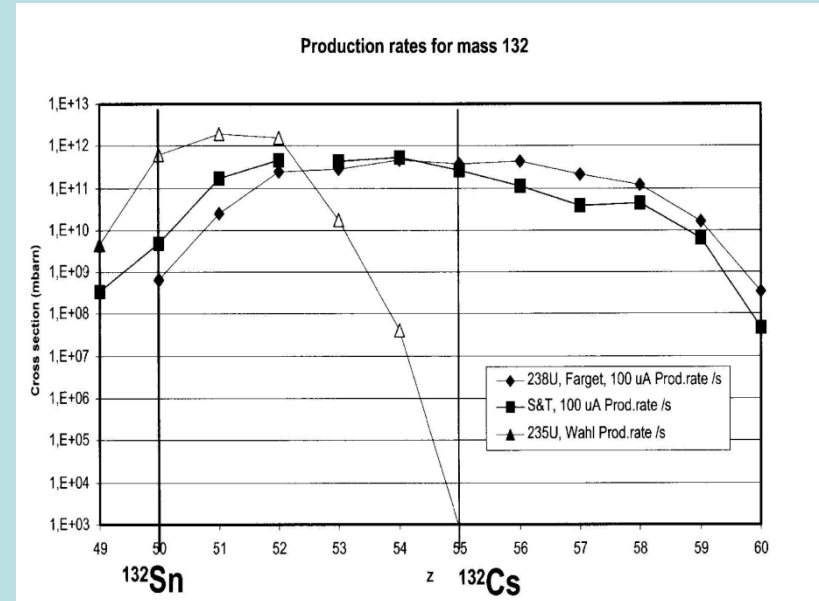
Исследование хода r -процесса в крайне нейтронно-избыточной области

Проект ИРИНА (Исследование Радиоактивных Изотопов на Нейтронах) на реакторе

Проекты ISOL систем с мишенями из ^{235}U в канале реактора: установка OSIRIS на реакторе в Студвике (Швеция), проект установки PIAFF на реакторе в Гренобле (Франция), проект установки MAFF на реакторе в Мюнхене (Гарчинг, Германия)



Сечения образования изотопов Rb на пучках различных частиц

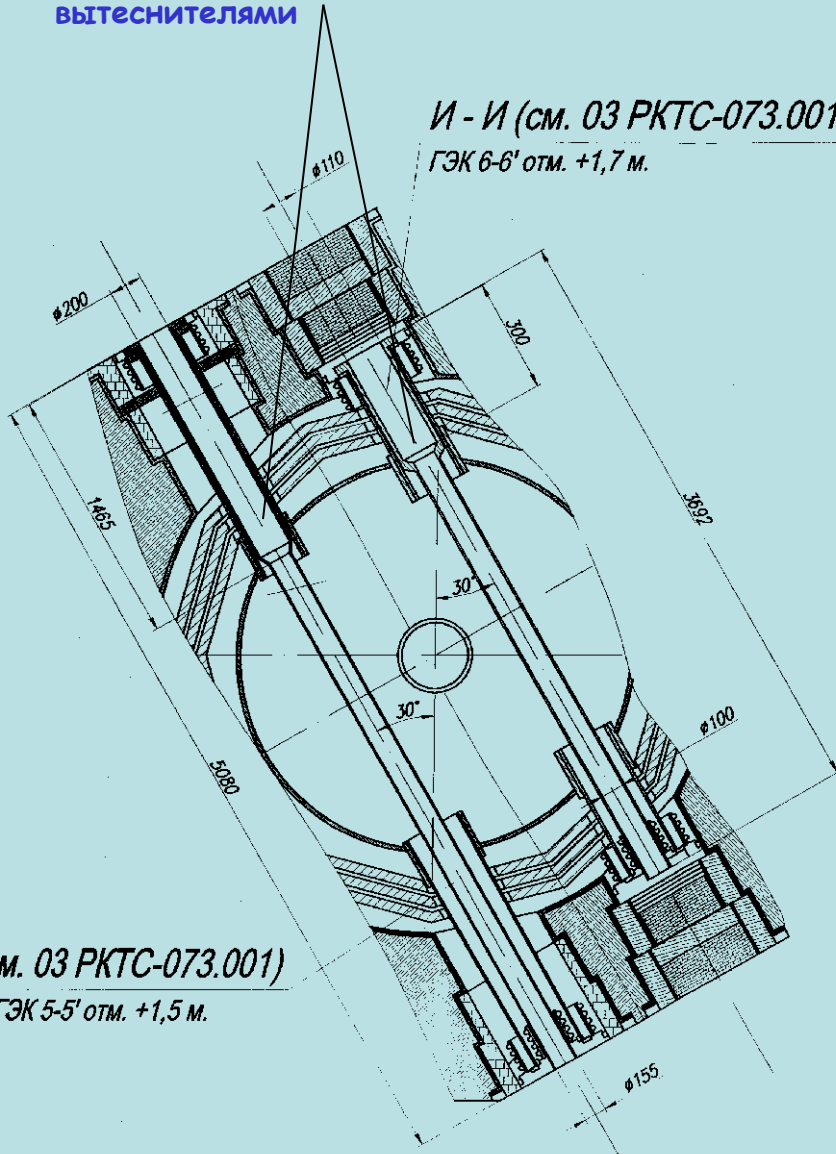


Получение на тепловых нейтронах нейтронно-избыточных ядер в районе дважды магических ядер ^{132}Sn и ^{78}Ni позволяет снизить на несколько порядков вклад соответствующих изобар Cs и Rb по сравнению с получением на протонах

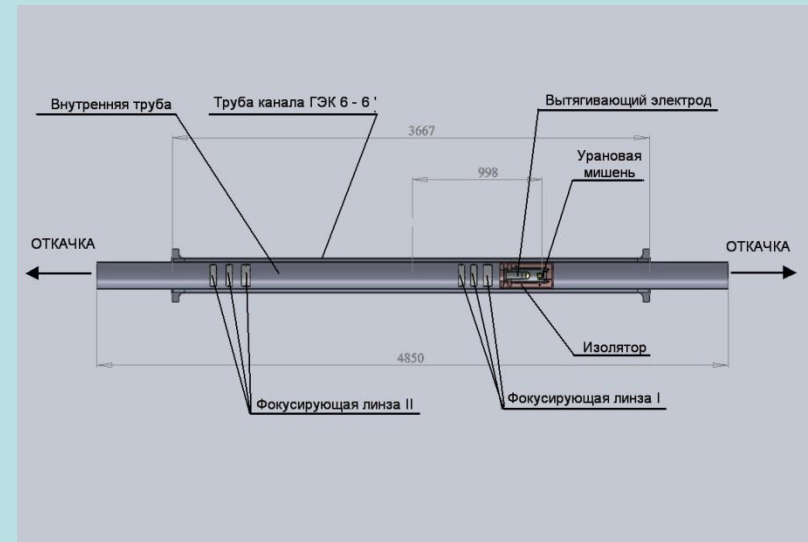
Новый Канал ГЭК-5

Каналы ГЭК-5 и ГЭК-6 с установленными вытеснителями

И - И (см. 03 РКТС-073.001)
ГЭК 6-6' отм. +1,7 м.



(см. 03 РКТС-073.001)
ГЭК 5-5' отм. +1,5 м.



Канал ГЭК-5 с мишенным устройством и ионо-оптической системой масс-сепаратора



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ

«Петербургский Институт Ядерной Физики
им. Б.П.Константинова»

188300, г. ГАТЧИНА, Ленинградской области, Орловский район
Телефон: (81371) 4 60 25. Телефакс: (81371) 3 60 25. E-mail: dir@vniie.spb.ru
ОКПО 02698654, ОГРН 1034701242443, ИНН 4705001850, КПП 470501001

Директору – Генеральному конструктору
ОАО «НИКИЭТ»
Ю.Г. Драгунову

Исх. № 500/1-00/56
от 12 марта 2012 года

О проведении оценки стоимости разработки
мишенно-ионной (реакторной) части установки
«ИРИНА»

Уважаемый Юрий Григорьевич!

Прошу Вашего согласия на проведение оценки стоимости разработки
мишенно-ионной (реакторной) части установки «ИРИНА», планируемой к
установке канала ГЭК 6-6' реактора ПИК. Оценка также должна включать
стоимость модернизации или замены канала ГЭК 6-6'.

Необходимые исходные данные со стороны ПИЯФ будут предоставлены в
рабочем порядке.

Директор института

В.М.Самсонов

Пантелеев В.И.
(81371)462-08

Тема: ПИК - ИРИНА

От: Руслан Куатбеков <krp@nikiet.ru>

Дата: Птн, 06 Апр 2012, 10:19

Кому: vnr@pnpri.spb.ru

Копия: 'Никель Кирилл' <nikel@nikiet.ru> ([больше](#))

Срочность: Обычное
ь:

Настрой
ка: [Просмотреть все заголовки](#) | [Версия для печати](#) | [Загрузить сообщение на диск](#) | [Add to Address Book](#) | [View Message Details](#)

Разработка ГЭК для установки ИРИНА 13500,00 тыс. руб.
без НДС:

Разработка рабочей конструкторской документации ГЭК
(взамен 8204.53.36.000и/или 8204.53.69.000),
прочностное обоснование нового ГЭК.

Разработка технического предложения
реакторной части установки ИРИНА (2013 г.)

С уважением, Руслан



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



Федеральное государственное
бюджетное учреждение
«Петербургский институт ядерной физики
им. Б. П. Константинова»
(ФГБУ «ПИАФ» НИЦ «Курчатowski институт»)
мкр. Орлова роща, д. 1, г. Латвина,
Ленинградская область, 188300
Тел.: (81371) 4-60-23, факс: (81371) 3-60-25
E-mail: dir@npi.nvki.ru
ОКПО 02498654, ОГРН 1034701242443
ИНН 4705001850, БИП 470501001

22.02.2017 № 500/1-30/624

На № _____

Главному конструктору ИИР
АО «НИКИЭТ»
И. Т. Третьякову

Уважаемый Игорь Товиевич!

ФГБУ «ПИАФ» НИЦ «Курчатowski институт» просит провести оценку технической возможности замены трубы канала ГЭК 6-6' на трубу максимально возможного диаметра для расположения в данном канале оборудования установки ИРИНА, а также направить ТКП на выполнение данных работ.

Технические детали данной замены предварительно обсуждались в рабочем порядке в конструкторской группе К. А. Никеля.

Заместитель директора
по научной работе

В. В. Воронин

Пантелеев В.Н.
Тел: 8 (813 71) 4-62-08

28/03 2017 13:16 FAX 2837478

АО «НИКИЭТ»

00001



ПРЕДПРИЯТИЕ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»

Копии:

Акционерное общество «Орениа Латвия
Научно-исследовательский и конструкторский институт
энергетических систем имени Н. А. Доллежалы»
(АО «НИКИЭТ»)
а/я 788, Москва, 101000
Телефон: 611569 МОМЕНТ
Тел. (499) 263-73-88, факс (499) 788-20-52
E-mail: nikiet@nikiet.ru, www.nikiet.ru

28 МАР 2017 №441-071 21/212

На №0001-30/624 от 28-03-2017 г.

О установке ИРИНА

Уважаемый Владимир Владимирович!

Рассмотрев Ваш запрос о размещении в реакторе ПИК установки ИРИНА сообщаем:

1. Установку целесообразно разместить в канале ГЭК 5-5', так как он не оборудован шиберами.
2. Принципиальная возможность доработки канала ГЭК 5-5' существует.
3. Минимальный внутренний диаметр дорабатываемого канала составит 210 мм.
4. АО «НИКИЭТ» готово разработать РКД дорабатываемого канала. С учетом сроков энергетического пуска реактора ПИК разработку РКД возможно выполнить в рамках планируемого договора «Услуги по разработке и изготовлению оборудования...» в срок 6 месяцев с момента заключения договора. Пропу ПИАР определиться с необходимостью данной работы с учетом изготовления и поставки комплектующих канала.

ФГБУ «Петербургский институт
ядерной физики
им. Б. П. Константинова» №2
Вх. № 164 Дата 28.03.2017

Главный конструктор ИИР

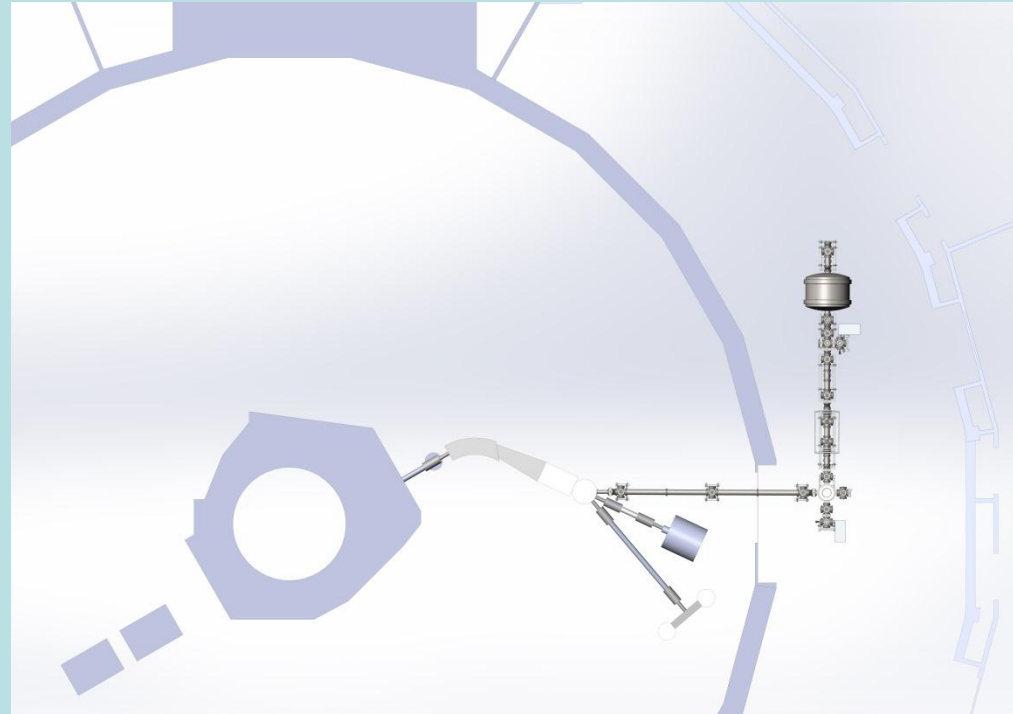
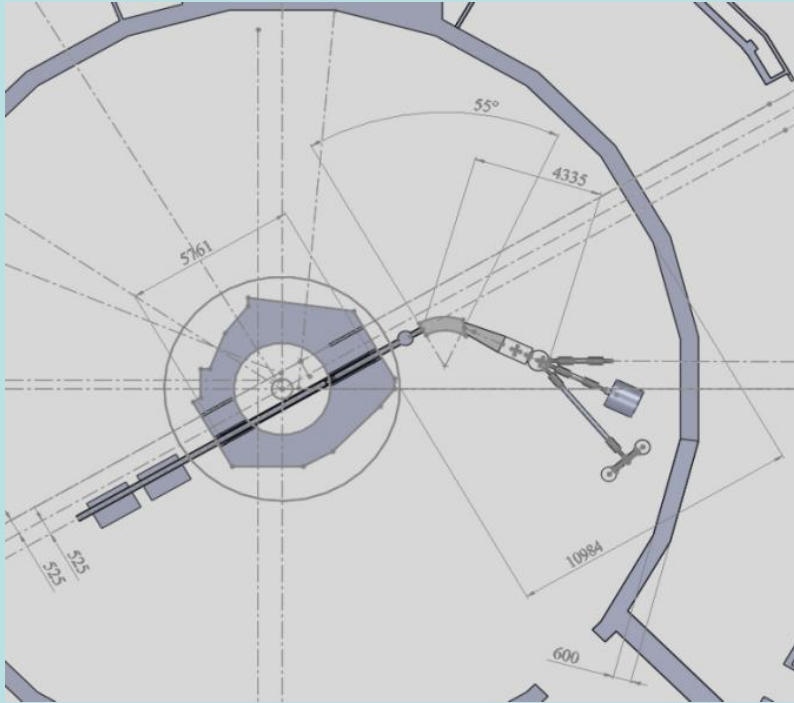
Докляин П. С.
(499) 763-04-03

И.Т. Третьяков



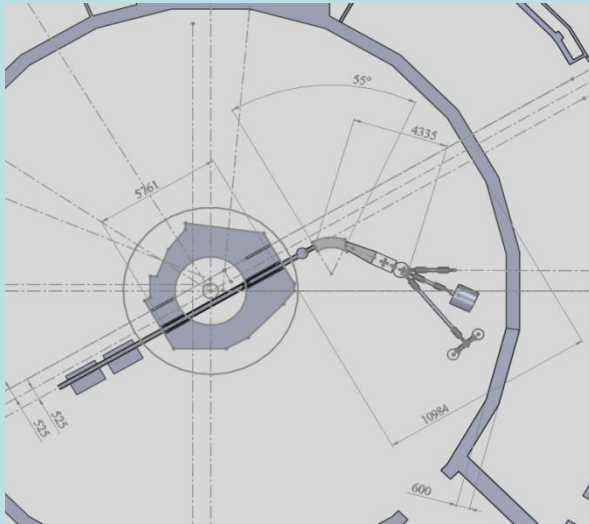
002236

Расположение оборудования в канале 5-5' и в экспериментальном зале реактора ТИК



Внутренняя труба: мишень-ионный источник, вытягивающий электрод, две фокусирующие линзы.
Экспериментальный зал: две горячие камеры, масс-сепаратор с ионными трактами, лентопротяжным устройством и детекторами.
Внешний зал: система ловушек PITRAP.
Лабораторное помещение 107: лазерная установка.

Плотность потока нейтронов на выходе канала на границе биологической защиты реактора (расчеты сделаны М.С. Онегиным)

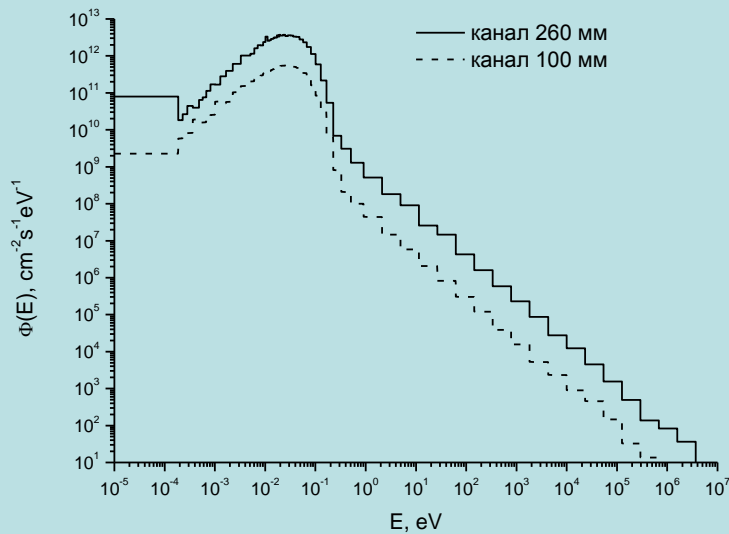


Канал диаметром 100 мм:

Диапазон энергий	Плотность потока нейтронов, $\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$
Тепловые нейтроны, энергия < 0,625 эВ	$3,87 \times 10^{10}$
Быстрые нейтроны, энергия > 0,1 МэВ	$2,8 \times 10^7$
Все энергии	$3,91 \times 10^{10}$

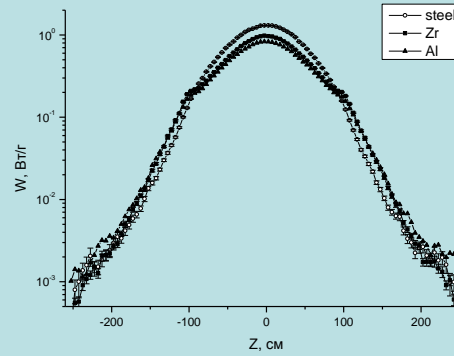
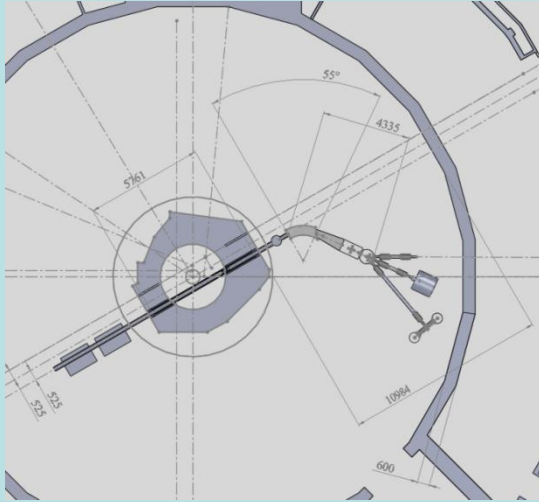
Канал диаметром 260 мм:

Диапазон энергий	Плотность потока нейтронов, $\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$
Тепловые нейтроны, энергия < 0,625 эВ	$2,65 \times 10^{11}$
Быстрые нейтроны, энергия > 0,1 МэВ	$2,73 \times 10^8$
Все энергии	$2,70 \times 10^{11}$



Спектр нейтронов на выходе канала ГЭК-5.

Энерговыведение на вставной трубе в канале ГЭК 5-5'

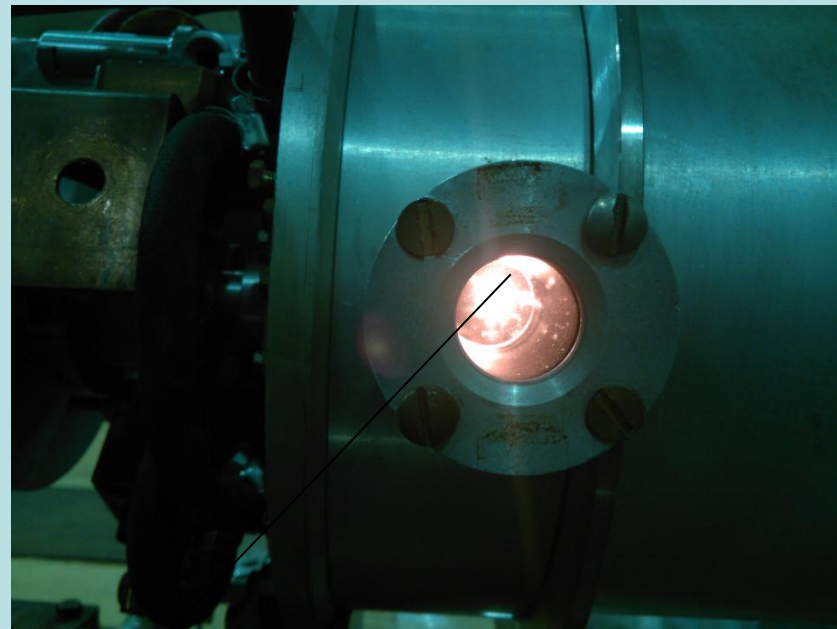


Вставная труба из алюминия САВ-6.
При расходе $1.5 \text{ м}^3/\text{час}$ температура
охлаждающей воды: вход - $55 \text{ }^\circ\text{C}$
выход - $75 \text{ }^\circ\text{C}$

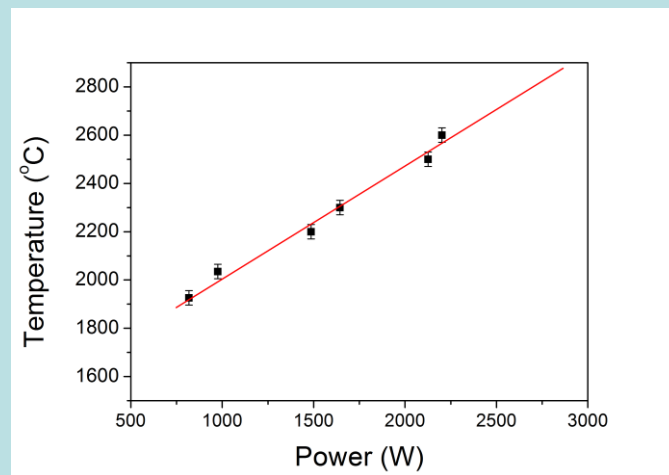
Расчет Г.А. Кирсанова

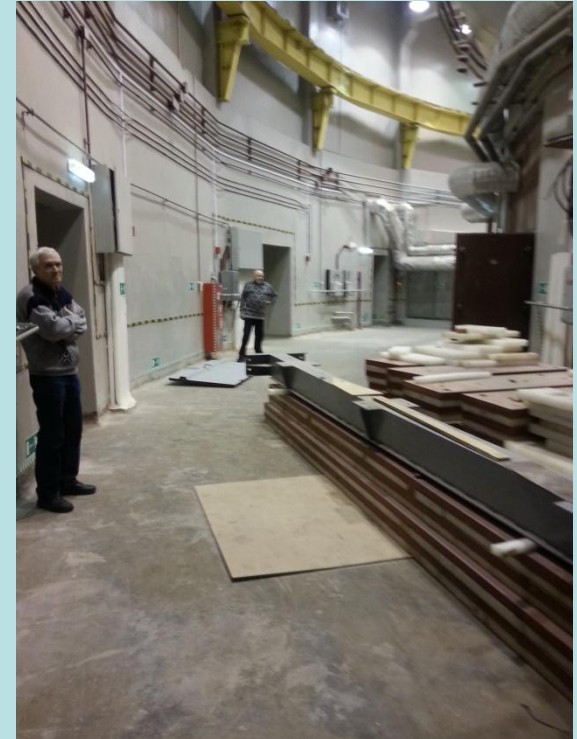
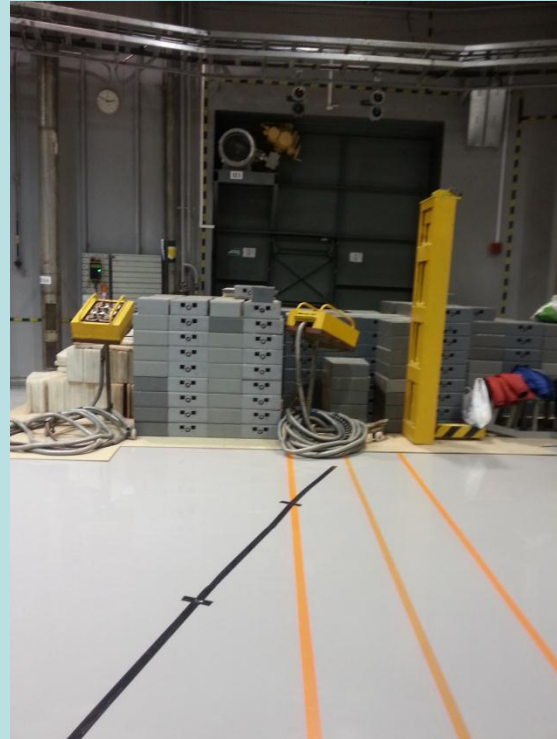
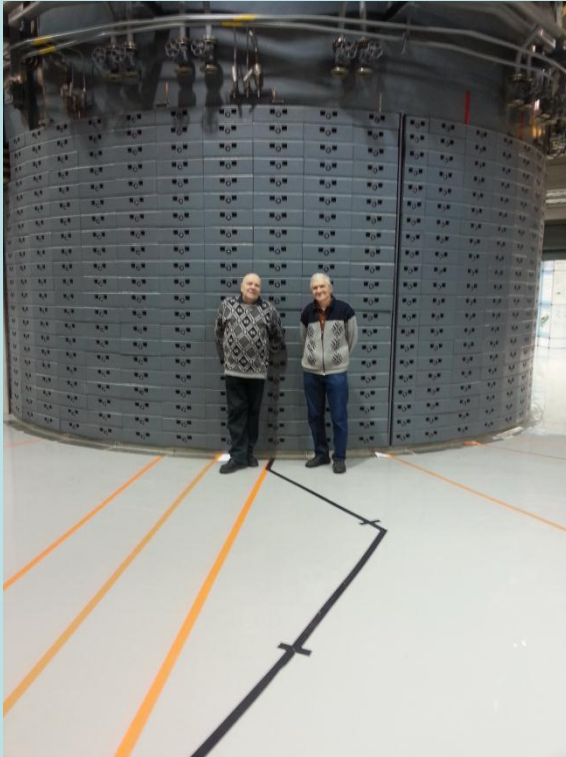
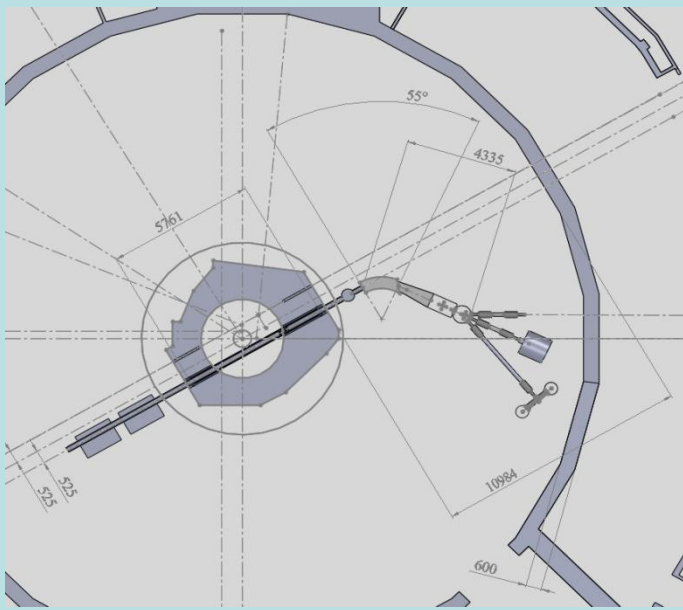
Распределение удельного энерговыведения по длине вставной трубы.





Нагрев источника-мишени при напряжении на вытягивающей электроде 30 кВ





Использование ISOL комплекса ИРИНА на канале реактора ТИК с потоком нейтронов на мишени до 5×10^{13} н/см²сек обеспечит самые высокие в мире выходы нейтронно-избыточных ядер, что позволит значительно расширить область исследуемых изотопов, в частности, продвинуться в малоисследованную область изотопов с максимальным избытком нейтронов (астрофизические аспекты исследований).

Использование ионной ловушки PITRAP на одном из ионных трактов установки ИРИНА позволит измерять с высокой точностью (несколько кэВ) массы большого массива ядер, удаленных от полосы бета-стабильности.

С использованием высокочувствительного метода резонансной лазерно-ионизационной спектроскопии будут проводиться измерения зарядовых радиусов и электромагнитных моментов большого числа ядер в наиболее интересных для ядерной физики областях дважды магических ядер ⁷⁸Ni и ¹³²Sn.

Кроме того, на радиоизотопном комплексе ИРИНА будут проводиться эксперименты по получению сверхчистых радионуклидов для медицинского применения.

Проект установки PIAFE на реакторе в Гренобле (Франция)

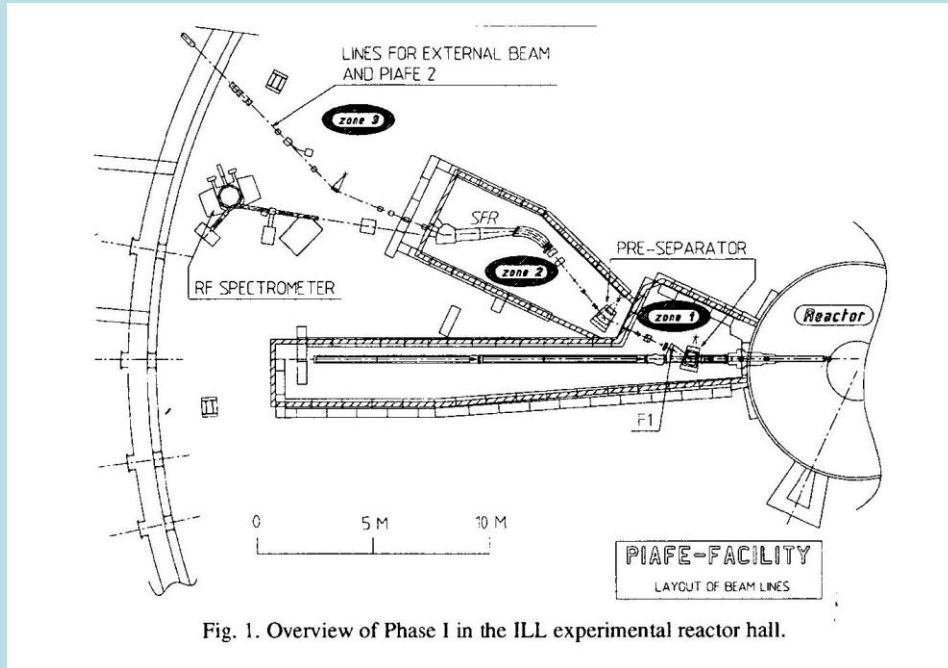
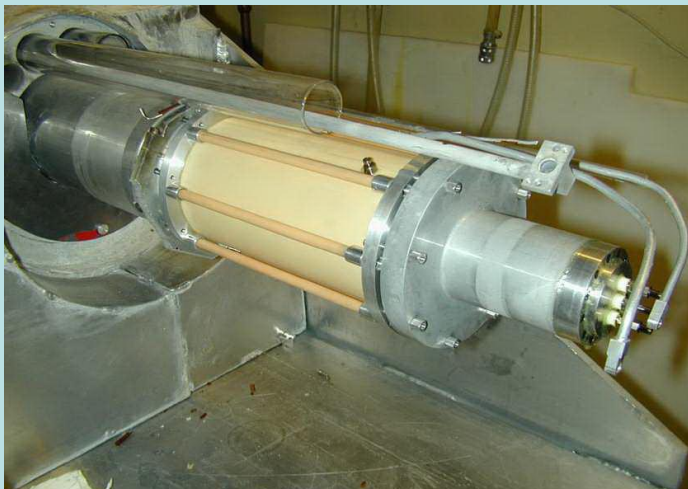


Fig. 1. Overview of Phase I in the ILL experimental reactor hall.

Мишенное устройство установки OSIRIS на реакторе в Студвике (Швеция)



Мишень из карбида урана с электростатической системой вытяжки и формирования ионного пучка (PIAFE)

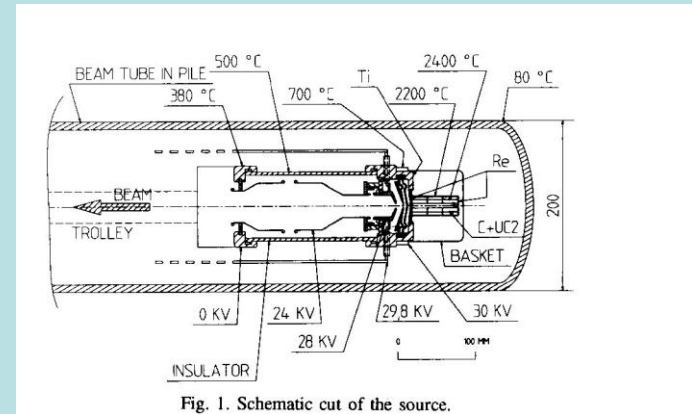


Fig. 1. Schematic cut of the source.

Мишень из карбида урана с вытягивающим электродом для установки MAFF на реакторе в Мюнхене (Гарчинг, Германия)

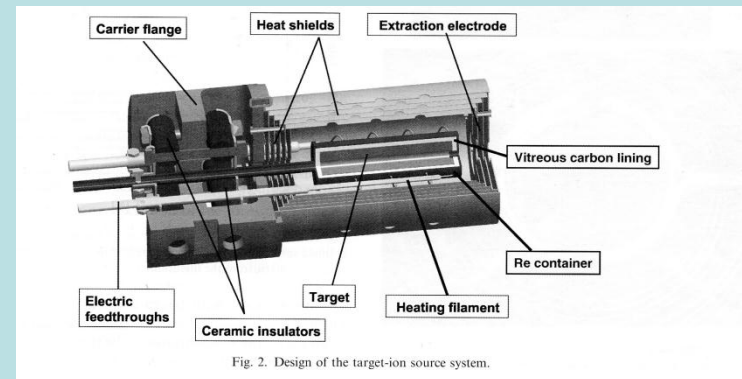
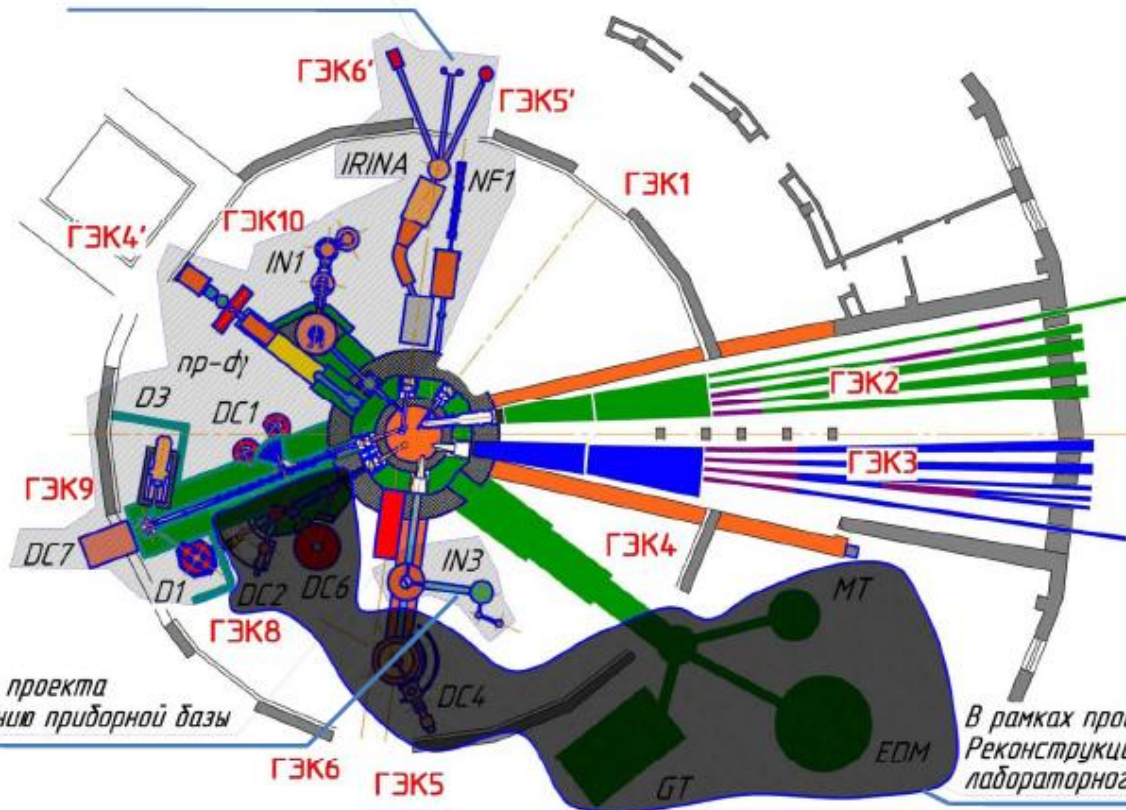


Fig. 2. Design of the target-ion source system.

Создание приборной базы реакторного комплекса ТИК

Зал горизонтальных каналов (8шт.)

В рамках проекта
по созданию приборной базы



- D1** - Суперпозиционный многосекционный порошковый дифрактометр
- D3** - Порошковый многодетекторный дифрактометр тепловых нейтронов
- DC1** - Четырехкружный дифрактометр
- IN1** - Трехосный спектрометр тепловых нейтронов
- IN3** - Трехосный спектрометр поляризованных нейтронов

В рамках проекта
по созданию приборной базы

В рамках проекта
Реконструкции
лабораторного комплекса

- **пр-дγ** - Установка «Бета-распад нейтрона»
- **IRINA** - Масс-сепараторный лазерно-ядерный комплекс ИРИНА
- **n4** - Установка «Нейтрино» (расположена в подреакторном пространстве)

Сравнение расчетных выходов (в мишени) нуклидов, крайне удаленных от линии бета-стабильности, для установок ИРИНА и SPIRAL2

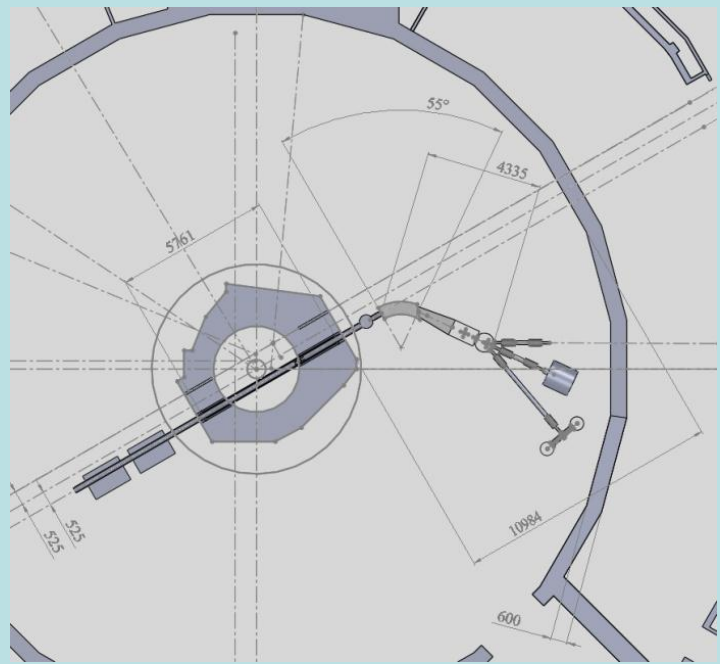
Nuclide	Z	T1/2 sec	IRIN	SPIRAL2
			Cum.Yield	Cum.Yield
⁷⁴ Ni	28	0,9	4,58E+06	2,75E+05
⁷⁸ Cu	29	0,342	1,09E+07	1,15E+06
⁸⁰ Zn	30	0,545	2,42E+08	2,64E+09
⁸⁴ Ga	31	0,085	1,11E+10	1,24E+07
⁸⁵ Ge	32	0,535	2,13E+09	4,09E+08
⁸⁷ As	33	0,49	5,27E+10	8,60E+09
⁹¹ Se	34	0,27	6,66E+08	2,71E+08
⁹³ Br	35	0,102	3,09E+09	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
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, которая, согласно сегодняшним оценкам, будет иметь самые высокие выходы нейтронно-избыточных изотопов

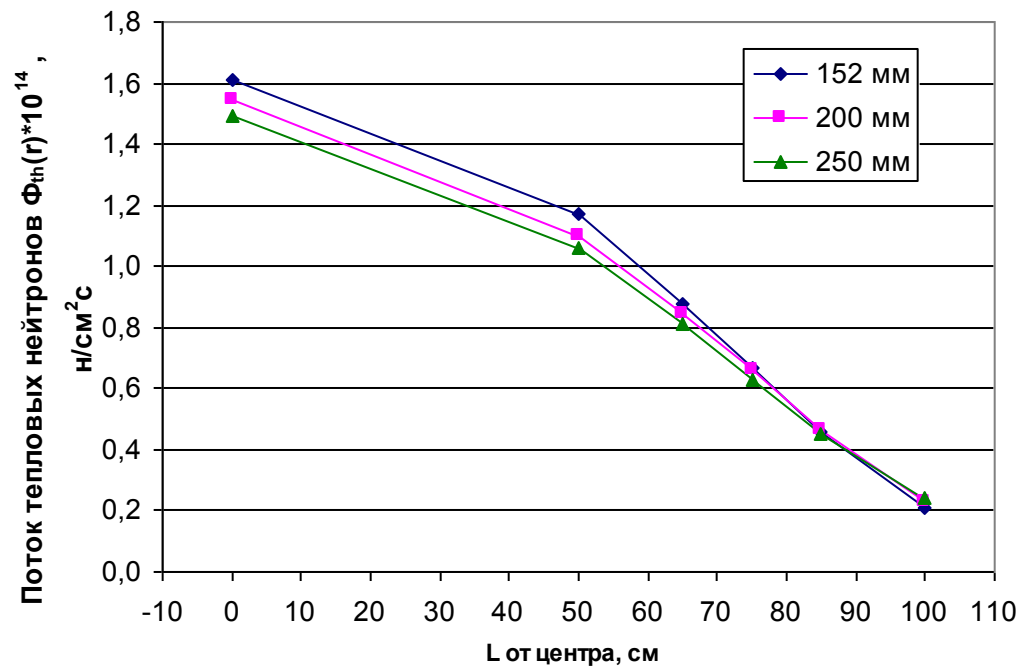
Результаты расчетов для канала ГЭК 5-5'

Расстояние от центра канала, см	Плотность невозмущенного потока на оси канала, см ⁻² с ⁻¹	Энерговыведение в урановой мишени весом 3.5 грамм (обогащение 95%), Вт
0	$1.09 \cdot 10^{14}$	2730
10	$1.06 \cdot 10^{14}$	
20	$1.00 \cdot 10^{14}$	
30	$9.2 \cdot 10^{13}$	
40	$8.2 \cdot 10^{13}$	
50	$7.05 \cdot 10^{13}$	1790
60	$5.84 \cdot 10^{13}$	
70	$4.53 \cdot 10^{13}$	
80	$3.21 \cdot 10^{13}$	
90	$1.95 \cdot 10^{13}$	
100	$1.05 \cdot 10^{13}$	
110	$5.95 \cdot 10^{12}$	

Изготовление прототипа трубы-вкладыша с мишенной ионо-оптической системой (экспериментальный зал ИРИС)



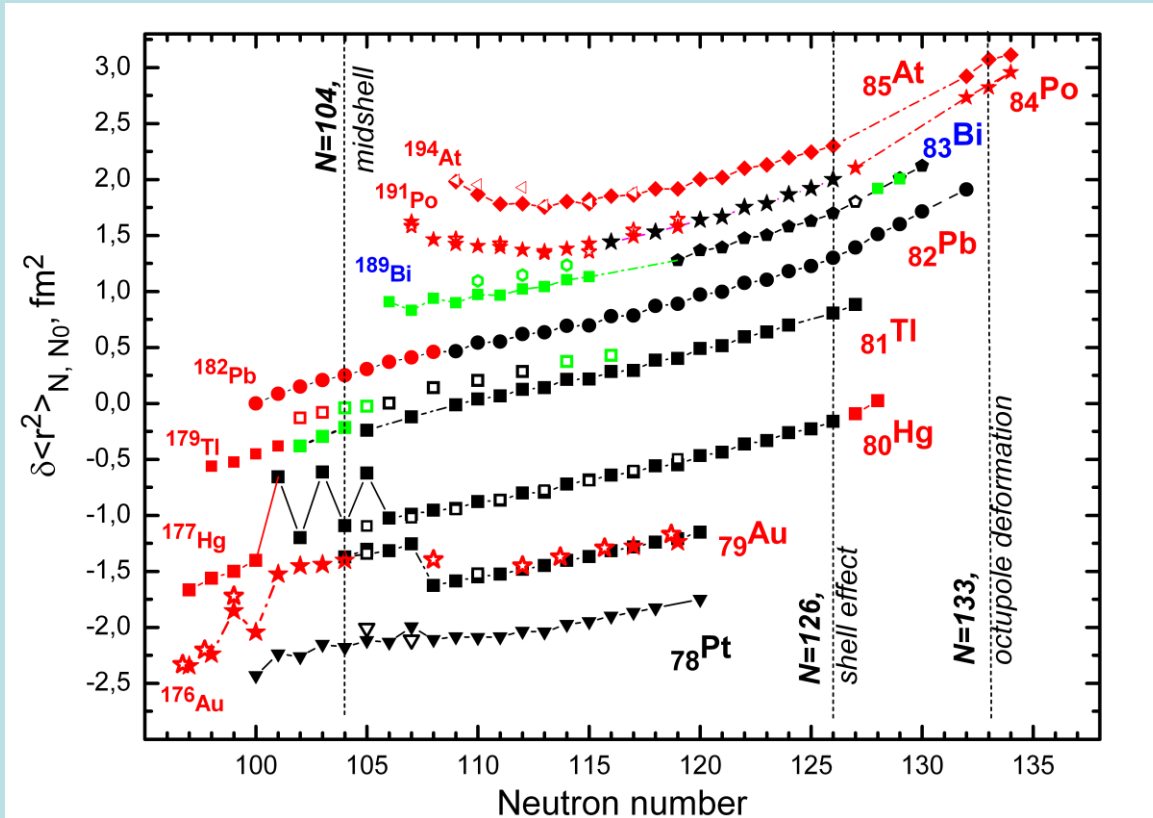
Поток тепловых нейтронов на оси горизонтального
канала ГЭК 5 $\Phi_{th}(r) \cdot 10^{14}$ н/см²с



Расчетные выходы долгоживущих «медицинских» изотопов на масс-сепараторе ИРИНА

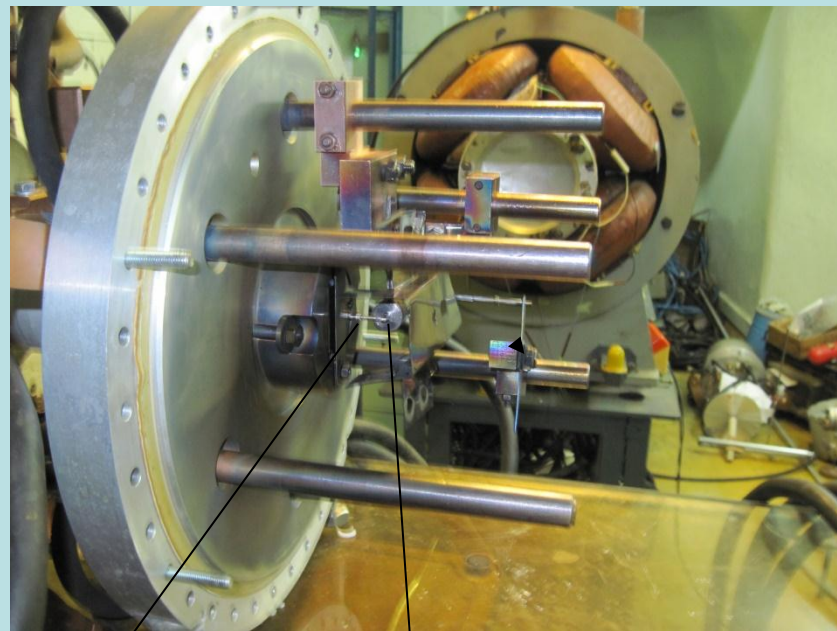
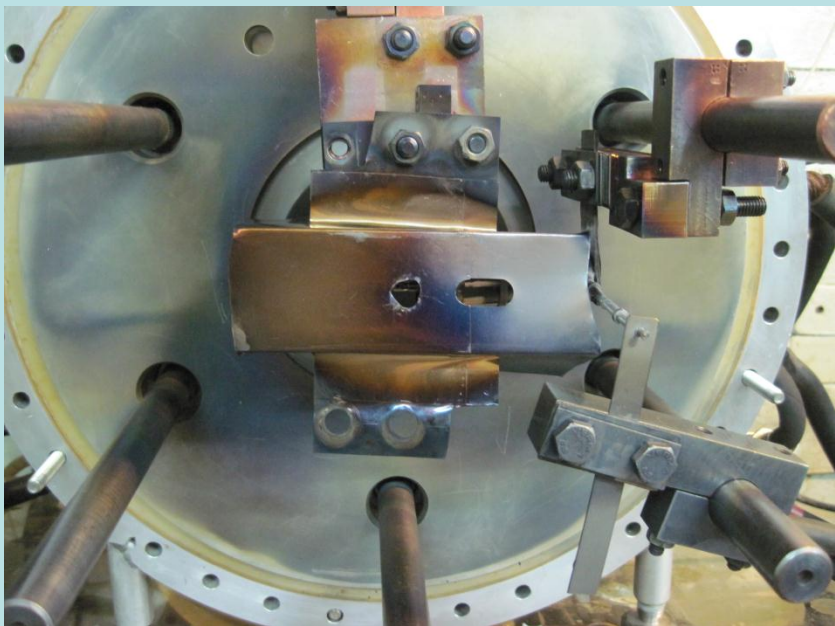
Нуклид	$T_{1/2}$	ISOLDE (1 μ A, 50g/cm ²)	ИРИНА (3*10 ¹³ n/cm ² s, 4g)
⁸⁹ Sr (Z=38)	50.5 d	-	10 ¹¹
⁹¹ Sr	9.5 h	-	10 ¹¹
⁹⁰ Y (Z=39)	2.67 d	-	10 ¹¹
⁹¹ Y	58.5 d	-	10 ¹¹
¹⁴² Pr (Z=59)	19.1 h	1*10 ⁷	~10 ¹⁰
¹⁴³ Pr	13.6 d	-	10 ¹¹
¹⁴⁹ Pm (Z=61)	53.08 h	4.3*10 ⁵	10 ¹⁰
¹⁵⁰ Pm	2.68 h	1*10 ⁵	~10 ⁹
¹⁵¹ Pm	28.4 h	2*10 ⁶	5*10 ⁹
¹⁵⁶ Eu (Z=63)	15.2 d	1.3*10 ⁵	~ 10 ⁹

Изменения зарядовых радиусов ядер в области свинца, измеренные методом лазерной спектроскопии в лазерном ионном источнике ISOLDE+IRIS (кр. и зел. точки)



С использованием метода лазерного ионного источника, разработанного в ПИЯФ (ИРИС), получают изотопы более 30 элементов Периодической системы.

Метод лазерного ионного источника в настоящее время используется в 6 ведущих ISOL лабораториях, при этом наиболее интенсивно на установке ISOLDE (CERN), ИРИС (ПИЯФ), ISAC (TRIUMF, Canada).

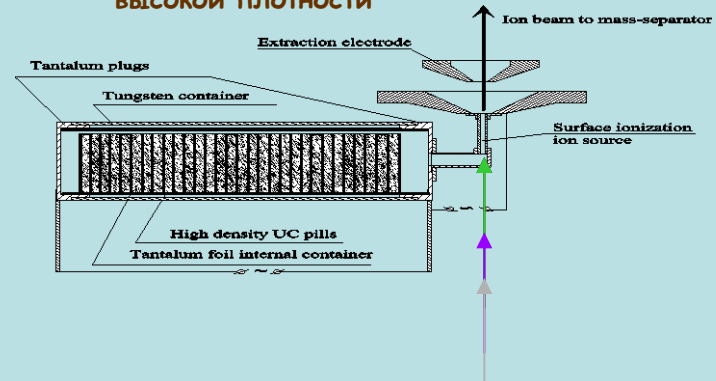


Лазерный ионный источник

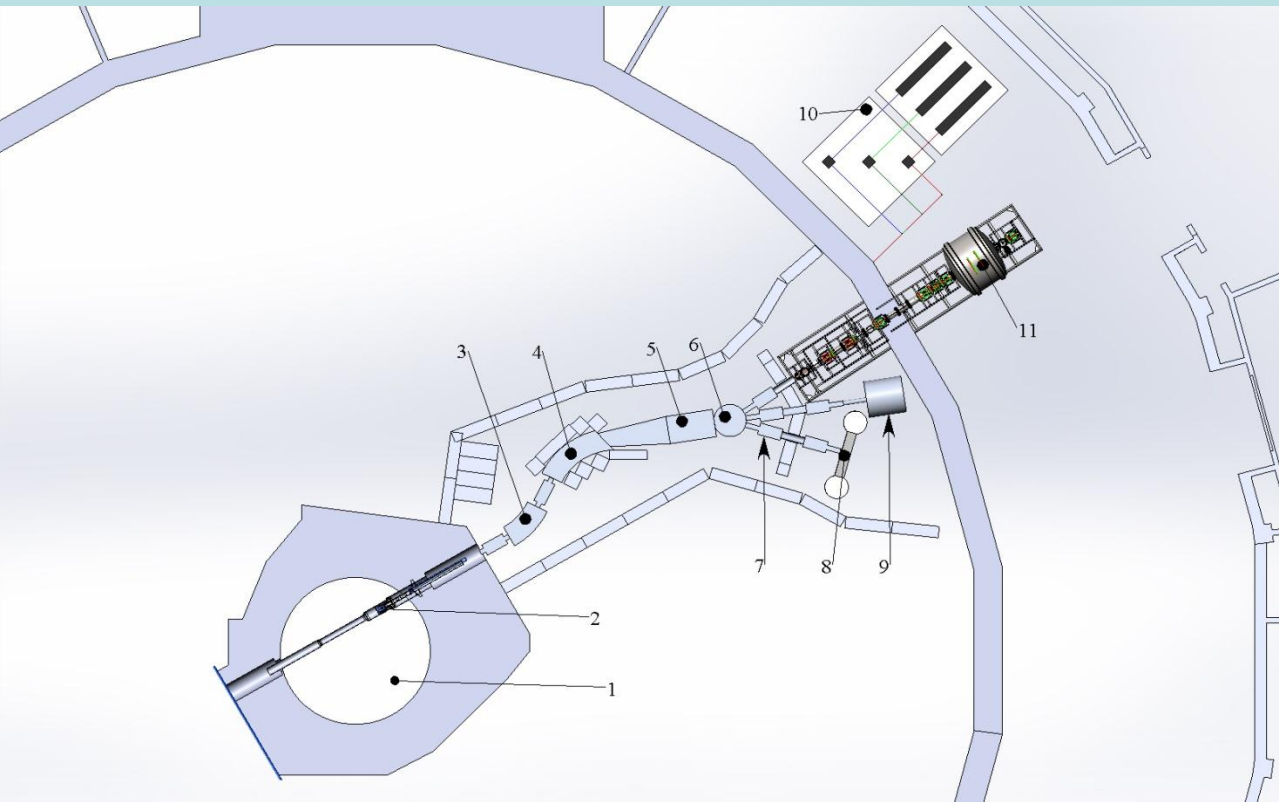


Ультрафиолетовый и зеленый лазерные лучи, сфокусированные в объем лазерного ионного источника

Мишень с карбидом урана
высокой плотности



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



Мишень -
высокообогащенный ^{235}U .

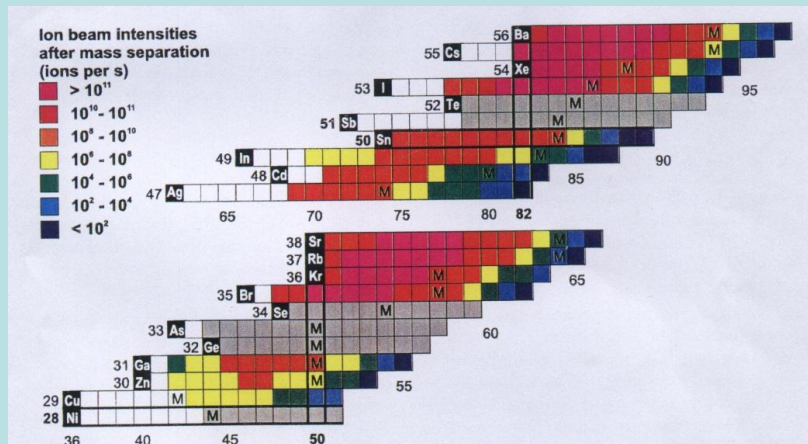
Масса - 3-4 г.

Нейтронный поток через
мишень $(3-5) \times 10^{13}$ н/сек.см²

Выделяемая мощность -

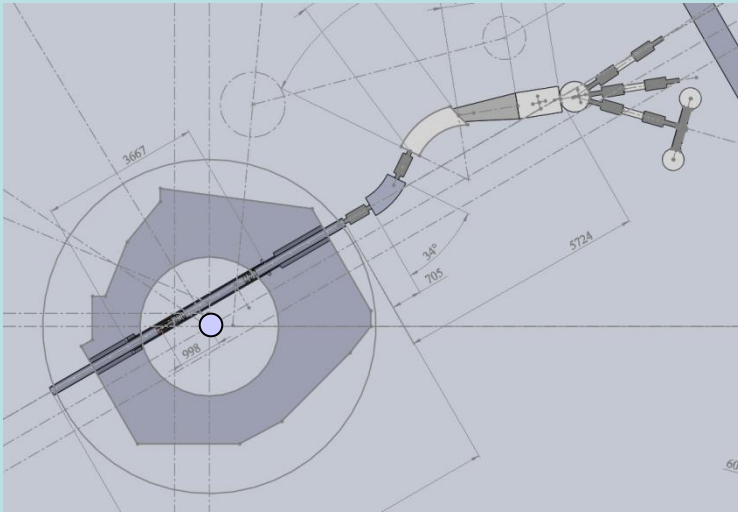
2.5 - 3 кВт.

Комплекс ионных ловушек на
одном из трактов масс-сепаратора
позволит измерять массы удаленных
ядер с точностью **несколько кэВ**



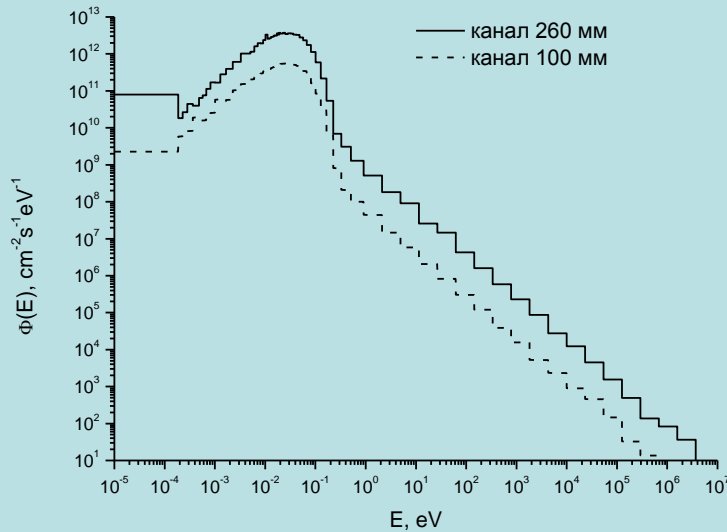
Выходы нейтронно - избыточных ядер
на коллекторе масс-сепаратора

Плотность потока нейтронов на выходе канала на границе биологической защиты реактора (расчеты сделаны М.С. Онегиным)



Канал диаметром 100 мм:

Диапазон энергий	Плотность потока нейтронов, $\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$
Тепловые нейтроны, энергия < 0,625 эВ	$3,87 \times 10^{10}$
Быстрые нейтроны, энергия > 0,1 МэВ	$2,8 \times 10^7$
Все энергии	$3,91 \times 10^{10}$



Канал диаметром 260 мм:

Диапазон энергий	Плотность потока нейтронов, $\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$
Тепловые нейтроны, энергия < 0,625 эВ	$2,65 \times 10^{11}$
Быстрые нейтроны, энергия > 0,1 МэВ	$2,73 \times 10^8$
Все энергии	$2,70 \times 10^{11}$

Спектр нейтронов на выходе канала ГЭК-6.

Physics with Exotic Nuclei

