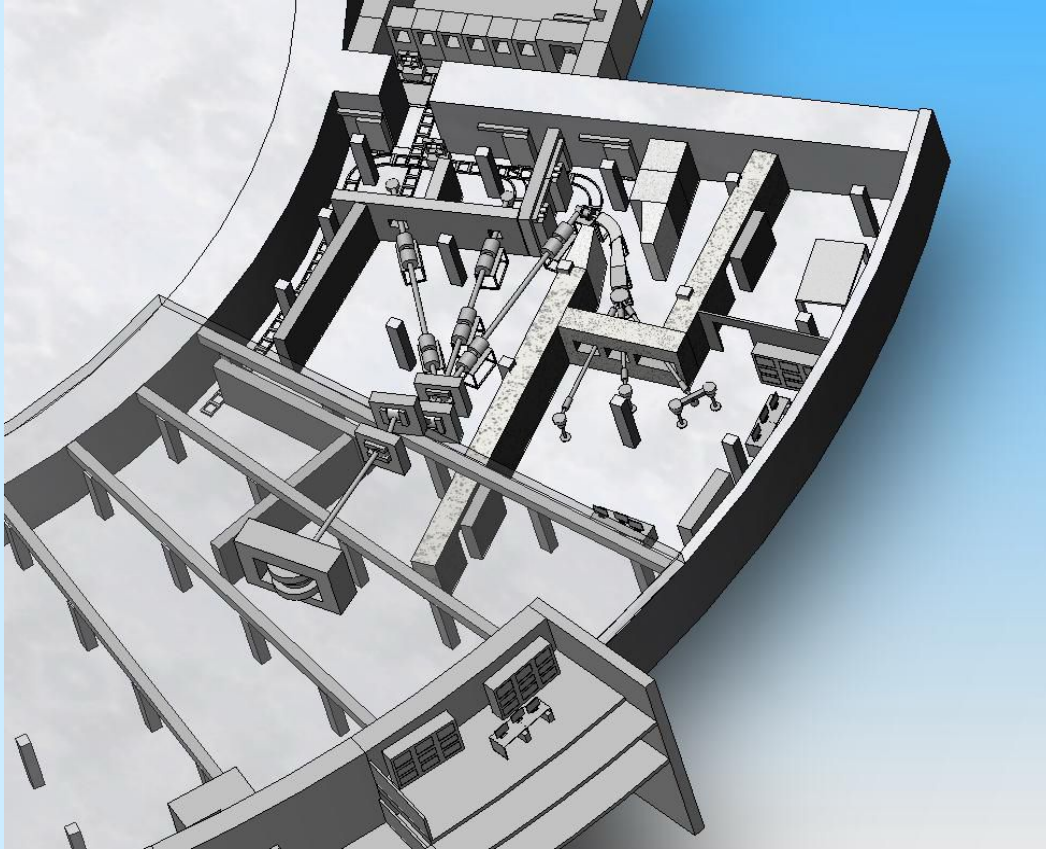


РАДИОИЗОТОПНЫЙ КОМПЛЕКС РИЦ-80. РАЗРАБОТКА НОВЫХ
МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ ГЕНЕРАТОРНОГО ИЗОТОПА
Sr-82 И ДРУГИХ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОТОПОВ

Радиоизотопный комплекс РИЦ-80



Три мишенные станции для получения наиболее используемых в настоящее время радионуклидов.

Система автоматической транспортировки для перемещение облученных мишеней в горячие камеры.

Энергия выведенного протонного пучка 40-80 МэВ и интенсивность до 200 мкА обеспечивают самые широкие возможности получения медицинских радионуклидов и радиофармпрепаратов для диагностики и терапии, которых до настоящего времени не было на других Российских установках.

По своим параметрам и возможностям РИЦ-80 будет соответствовать самым лучшим зарубежным аналогам.

По возможности получения сверхчистых радионуклидов данная установка не будет иметь мировых аналогов.

Схема расположения радиоизотопного комплекса РИЦ-80 в подвале экспериментального зала синхроциклотрона ПИЯФ

Радионуклиды, планируемые к получению на РИЦ-80

| Радионуклид | T1/2 | Мишень | Время облуч. (ч) | Активность в мишени (Ки) | использование |
|----------------------|---------|--------|------------------|--------------------------|--|
| Ge-68 пэт калибр. | 270.8 d | Ga | 240 | 2 | калибровка ПЭТ сканеров, диагностика заболеваний нейроэндокринной системы |
| Sr- 82 пэт | 25.55 d | Rb, Y | 240 | 10 | диагностика заболеваний сердечно-сосудистой системы |
| Mo-99 офэт+тер | 2.74 d | Mo | 240 | 7.3 | диагностика и терапия различных видов опухолей |
| In-111 офэт | 2.8 d | Cd | 25 | 24.7 | Диагностика воспалительных процессов и злокачественных образований |
| I-123 офэт | 13.27 h | Te | 5 | 10.4 | диагностика щитовидной железы, локализация опухолей (нейробластома и феохромоцитома) |
| I-124 офэт | 4.17 d | Te | 25 | 9.3 | диагностика щитовидной железы , локализация опухолей, терапия |
| Tb-149 α-тер | 4.1 h | Gd | 12 | 3.5 | терапия злокачественных образований на клеточном уровне |
| Ra-223 α-тер | 11.4 d | Th | 240 | 7.3 | терапия злокачественных образований |

Кроме указанных в таблице радионуклидов, планируется создание линии для выделения **Re-188**, получаемого на реакторе. Имеется также возможность после осуществления 2-го этапа проекта производить **Cu-64, Cu-67, Rb-81, At-211**, а также другие медицинские радионуклиды.

Мишенные станции изотопного комплекса РИЦ-80 для получения медицинских радионуклидов и радиофармпрепаратов.

Станция №1: Инновационное направление - масс-сепаратор.

Классификация - разработанные мишенные технологии для получения разделенных радионуклидов высокой чистоты

Разработка ИРИС, ПИЯФ, изготовление НИИЭФА

Станция №2: Инновационное направление - сухое выделение. Высокотемпературное выделение радионуклидов из облученных мишенных веществ.

Разработка ИРИС, ПИЯФ, **изготовление НИИЭФА**

Станция №3: Классическое направление - производство радионуклидов, мокрая радиохимия, полуавтоматизированный или полностью автоматизированный синтез РФТ.

Классификация - поставка готовой технологии. **Поставщик - Von Gahlen, MicroSpin GmbH**

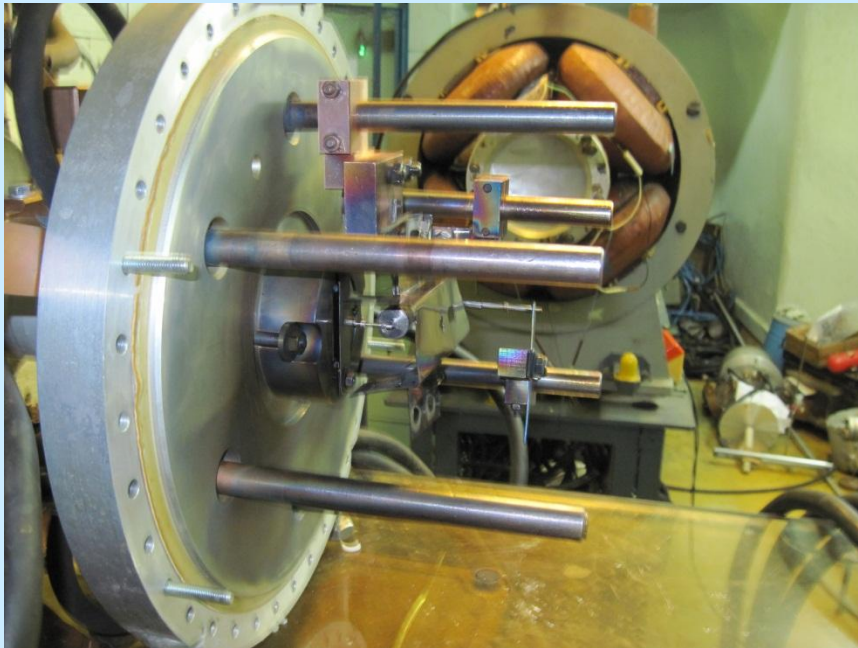
Разработка масс-сепараторного и высокотемпературного «сухого» метода получения медицинских радионуклидов

Главные особенности масс-сепараторного и высокотемпературного «сухого» метода получения медицинских радионуклидов

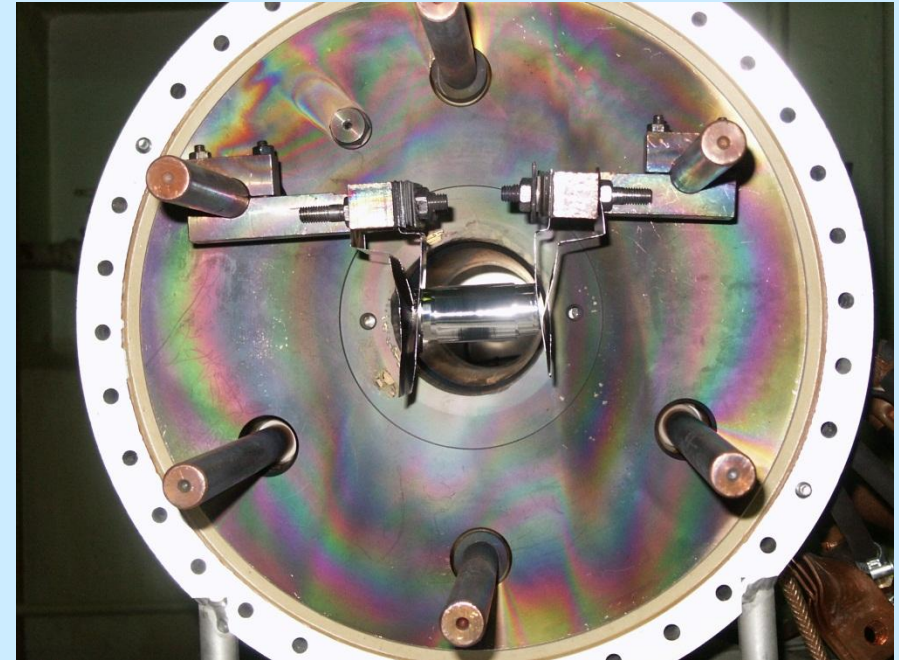
1. Новизна, возможность применения для получения широкого круга медицинских радионуклидов
2. Универсальность (в том и другом методе используются идентичные мишенные устройства, разрабатываемые на основе мишенных устройств, созданных и используемых на установке ИРИС
3. Выделение производимых радионуклидов в месте их наработки (в вакуумном объеме мишенного устройства) Отсутствие мокрой радиохимии при выделении радионуклида из мишенного материала.
4. Увеличение удельной активности на несколько порядков
5. В случае использования масс-сепаратора получение сразу нескольких разделенных радионуклидов высокой чистоты

Мишенные устройства с высокотемпературными контейнерами с мишенным веществом

На пучке синхроциклотрона

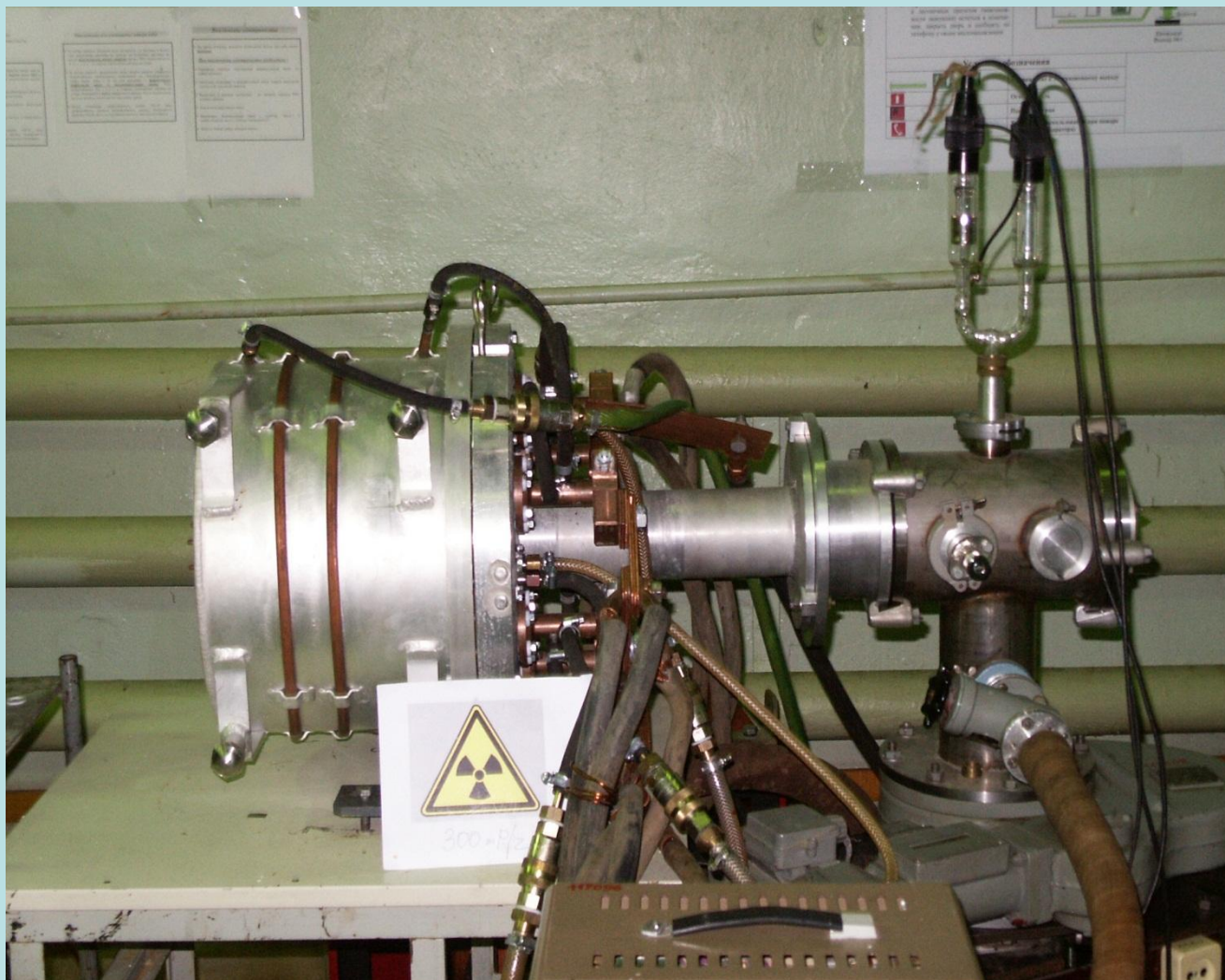


На вакуумном стенде



Масса мишенного вещества до 10 г/см^2 , температура до $2500 \text{ }^\circ\text{C}$, что соответствует рабочим условиям на Ц-80 (80 МэВ, 100мкА)

Высоковакуумный стенд с мишенным устройством для выделения генераторного изотопа ^{82}Sr из облученной мишени из UC_2 .



Температура мишенного вещества:

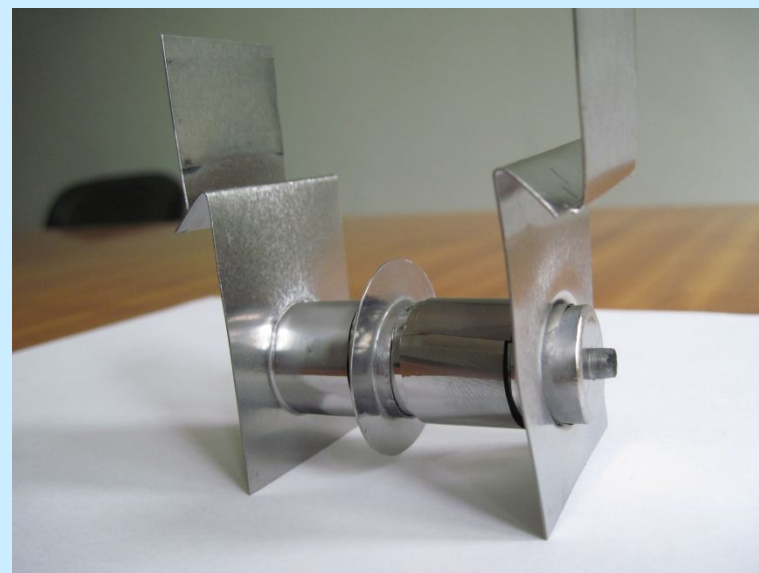
до 2500 °C

Выделяемая на мишени мощность:

более 9 кВт

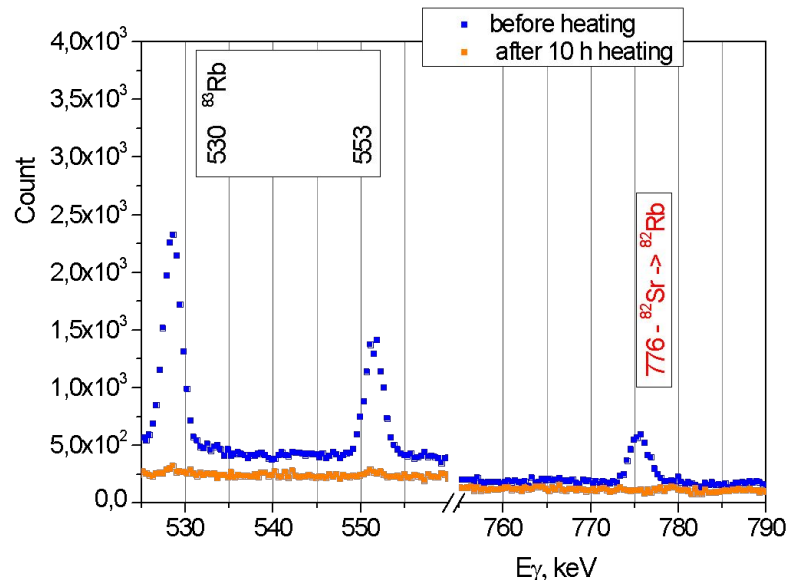
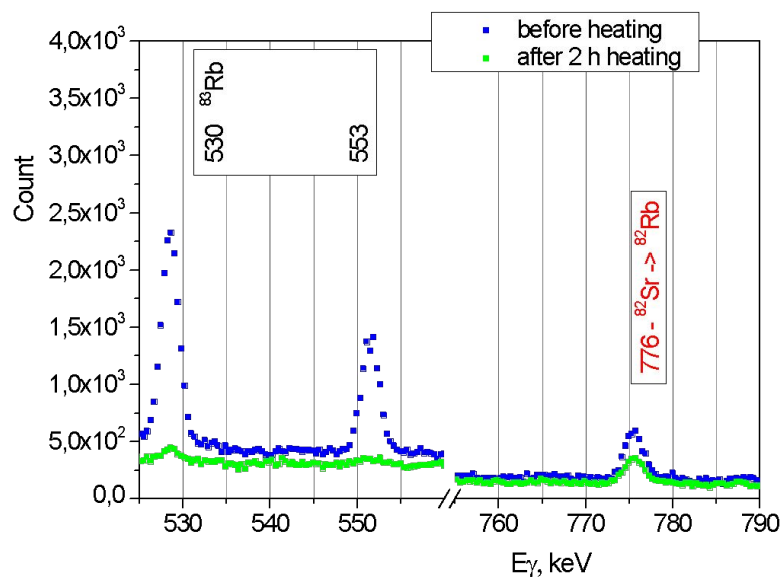
Разработанная конструкция мишенного устройства позволяет выделять радионуклиды из мишенных веществ в виде тугоплавких и жидких металлов, а также тугоплавких металлических карбидов

Рабочие прототипы мишеней для РИЦ-80



**Выделение Sr-82 из мишеней
дикарбида иттрия, хлористого
и металлического рубидия**

Гамма спектры облученных мишеней UC_2 до и после нагрева в мишенном контейнере



Часть гамма-спектра облученного образца дикарида иттрия, приготовленного в виде таблеток до его нагревания и после нагревания при температуре 1500 °C в течение 2-ух часов.

Эффективность выделения для рубидия 94%, для Стронция 43%.

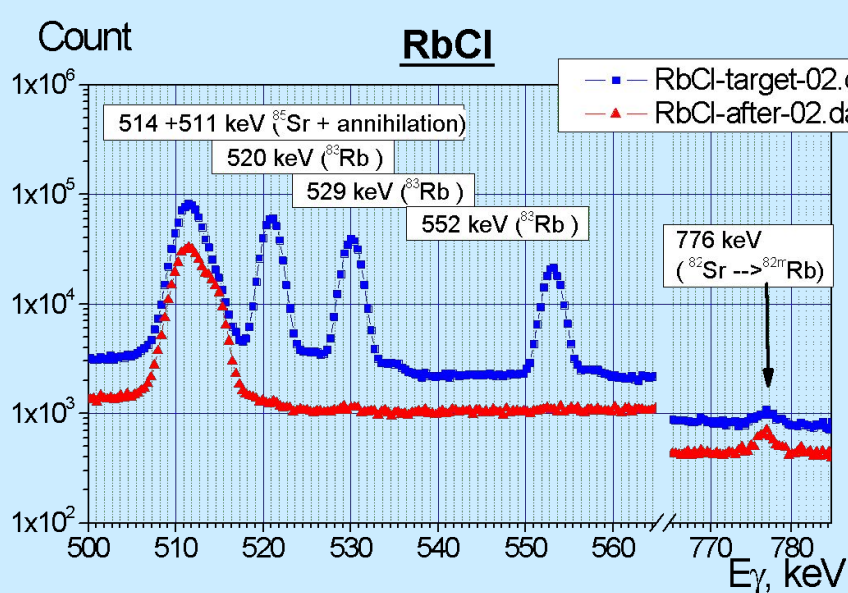
Часть гамма-спектра облученного образца карбида иттрия, приготовленного в виде таблеток до его нагревания и после нагревания при температуре 1500 °C в течение 10-ти часов.

Эффективность выделения для рубидия 98%, для стронция 98%.

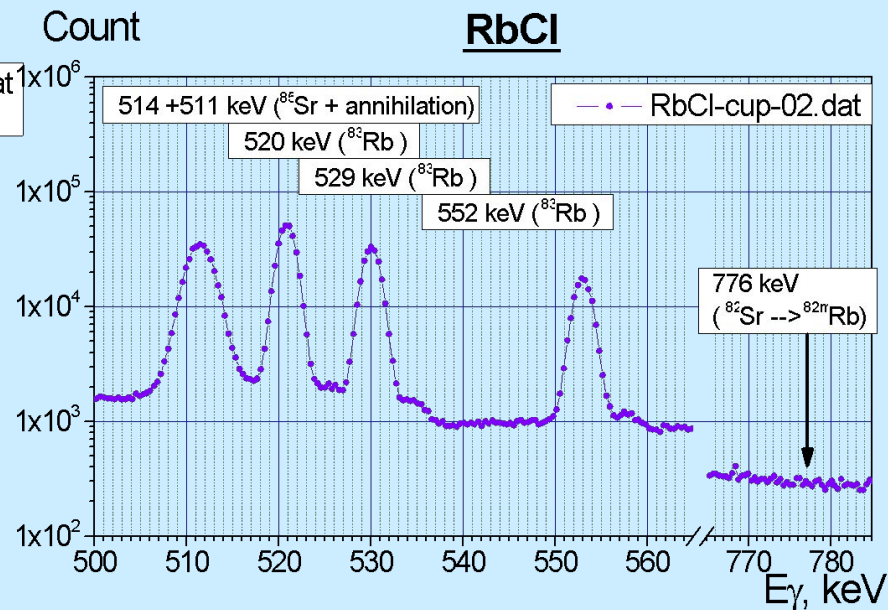
Количество мишенного вещества составляло около 10 г/см² Выделенный таким методом стронций-82 использовался в РНЦ РХТ для тестирования Sr/Rb-82 генератора

Вывод: из рабочего прототипа мишени из дикарбида иттрия высокой плотности толщиной 10 г/см^2 эффективность выделения стронция-82 за 10 часов нагрева при температуре $1500 \text{ }^\circ\text{C}$ составляет величину близкую к 100%.

Гамма спектры облученной мишени RbCl до и после нагрева в мишенном контейнере



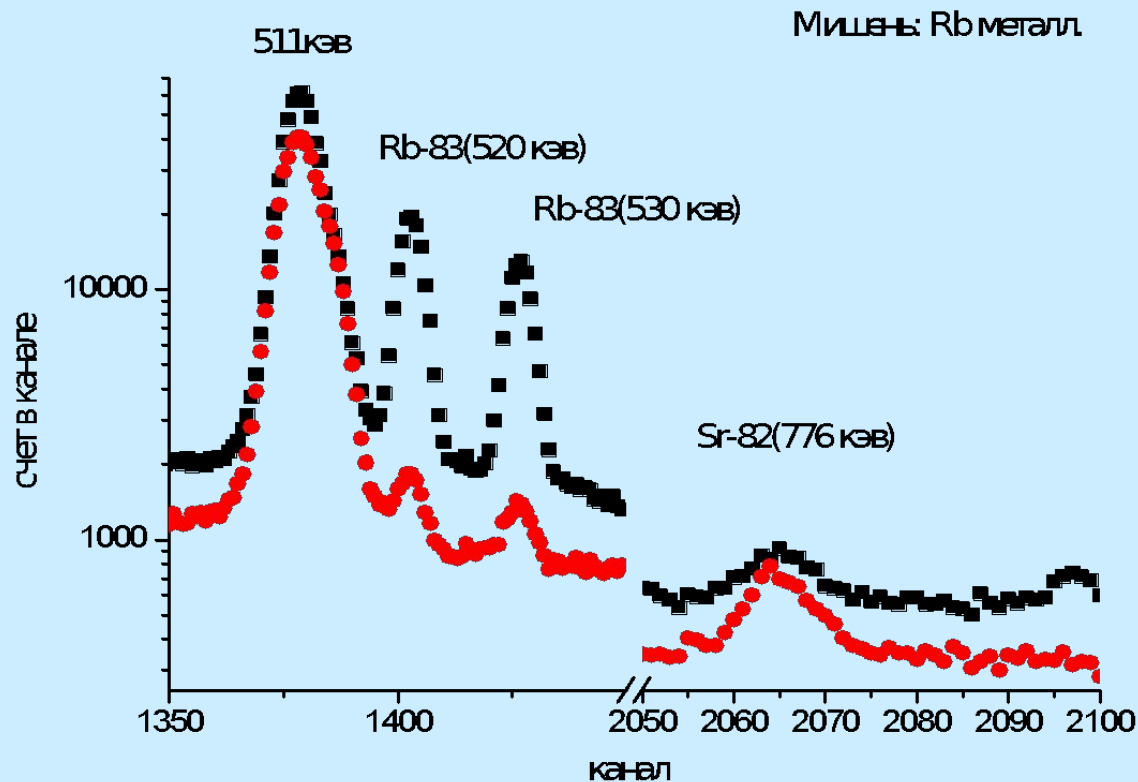
Часть гамма-спектра облученного порошка хлористого рубидия до его нагревания и после нагревания при температуре 800 °С в течение 2-ух часов.
Эффективность отделения мишенного материала - хлористого рубидия 100%.



Часть гамма-спектра облученного порошка хлористого рубидия, испаренного в балластный объем, после нагревания при температуре 800 °С в течение 2-ух часов.
Эффективность выделения рубидия в балластный объем близка к 100%

Эксперименты по выделению стронция из мишени в виде RbCl проведены с массой мишенного вещества около одного грамма/см²

Гамма спектр облученной мишени металлического рубидия в мишенном контейнере до и после его нагрева при $T=800\text{ }^{\circ}\text{C}$

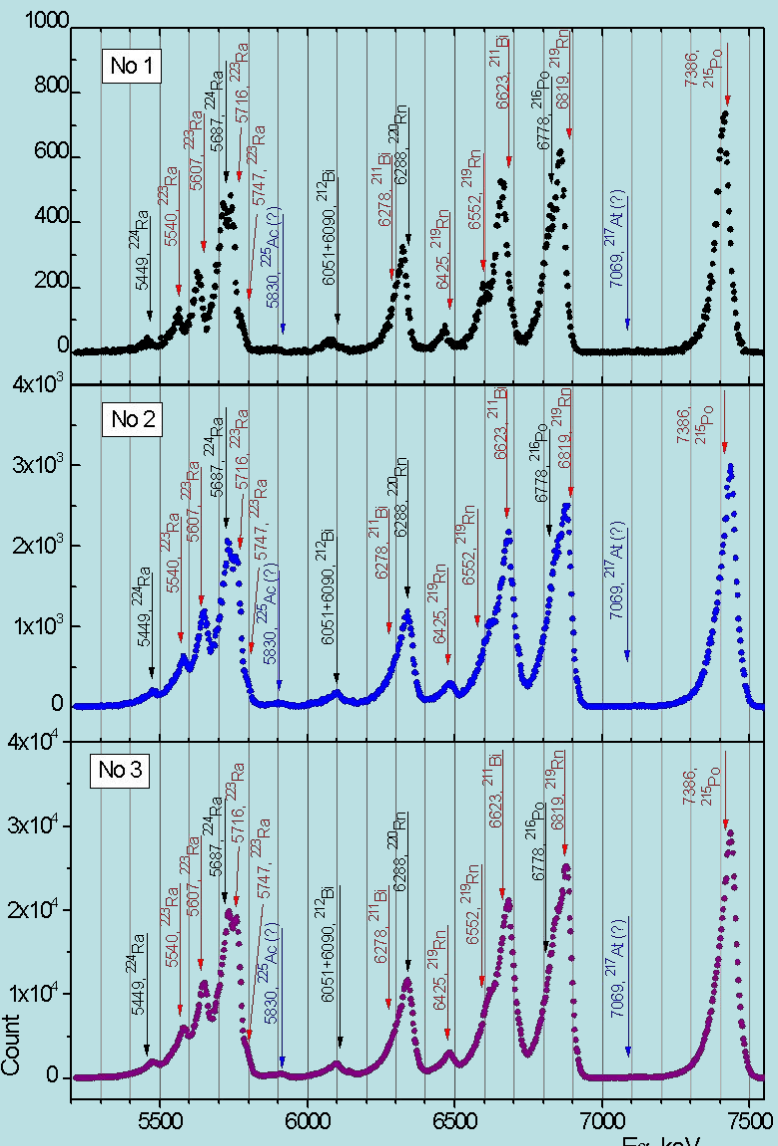
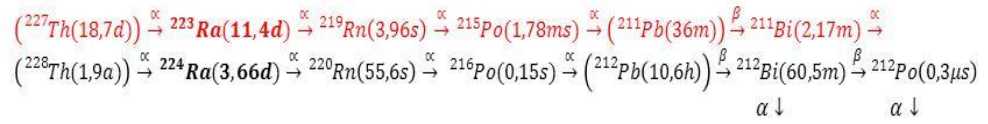


Часть гамма-спектра облученного металлического рубидия до его нагрева и после нагрева при температуре $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 1 часа.
Эффективность отделения рубидия 92%.

Выделение изотопов ^{223}Ra и ^{224}Ra , распадающихся α -распадом,
из мишени из карбида урана-238 высокой плотности

Альфа спектры $^{223,224}\text{Ra}$ высаженных на охлаждаемую подложку в течение двух часов нагрева облученной мишени при разных

ах

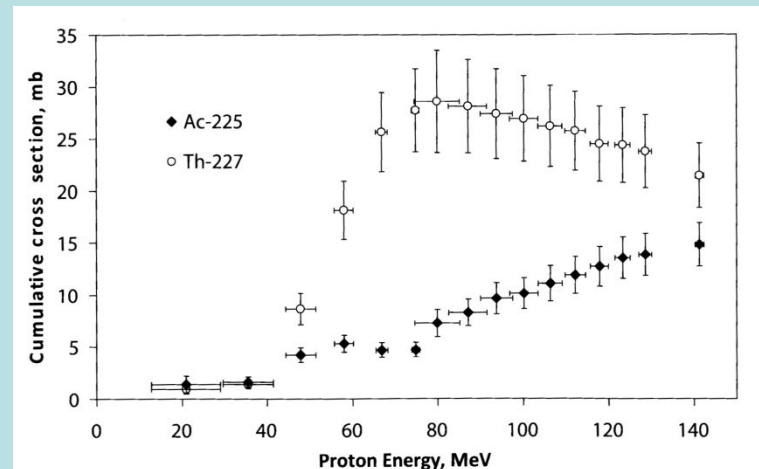


$T = 1900\text{ }^{\circ}\text{C}$
 Эффективность
 выделения
 около 2%

$T = 2100\text{ }^{\circ}\text{C}$
 Эффективность
 выделения
 около 10%

$T = 2300\text{ }^{\circ}\text{C}$
 Эффективность выделения
 около 90%

Следующий этап - использование карбида тория высокой плотности в качестве мишени, что обеспечит получение на РИЦ-80 активности изотопов Ra-223, Ra-224 до 2 Ки. Для одновременной наработки разделенных Ra-223, Ra-224 необходимо использование масс-сепаратора



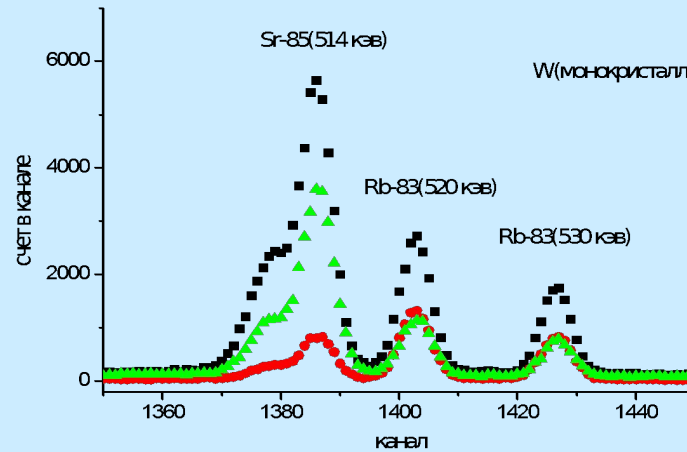
Сечение получения ^{225}Ac и ^{227}Th из ториевой мишени (^{232}Th) (S. Ermolaev, B Zhuikov et al., icis7 abstracts, p 32. 4-8 Sept. Moscow, Russia.)

Измерение эффективности поверхностной ионизации радиоактивного стронция

Измерение эффективности поверхностной ионизации радиоизотопов стронция

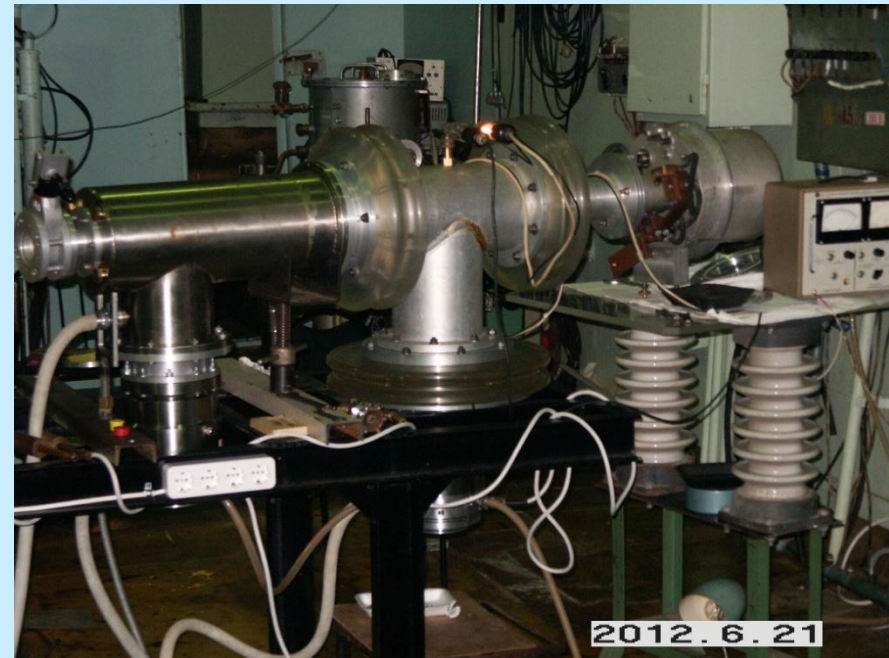


Ионный источник поверхностной ионизации с вольфрамовой трубкой
Длиной 20 мм из монокристаллического вольфрама с работой выхода 5 эВ



Измеренная эффективность ионизации рубидия при температуре 2400 °C равна 84%, стронция 45%

Линзовая часть нового тестового масс-сепаратора в экспериментальном зале ИРИС



Как было показано, при увеличении длины ионизатора эффективность ионизации возрастает пропорционально его длине, поэтому, используя источник из монокристаллического вольфрама длиной 50 мм, реально получить эффективность ионизации, близкую к 100% как для стронция, так и для радия

Для разрабатываемых прототипов мишеней для РИЦ-80:

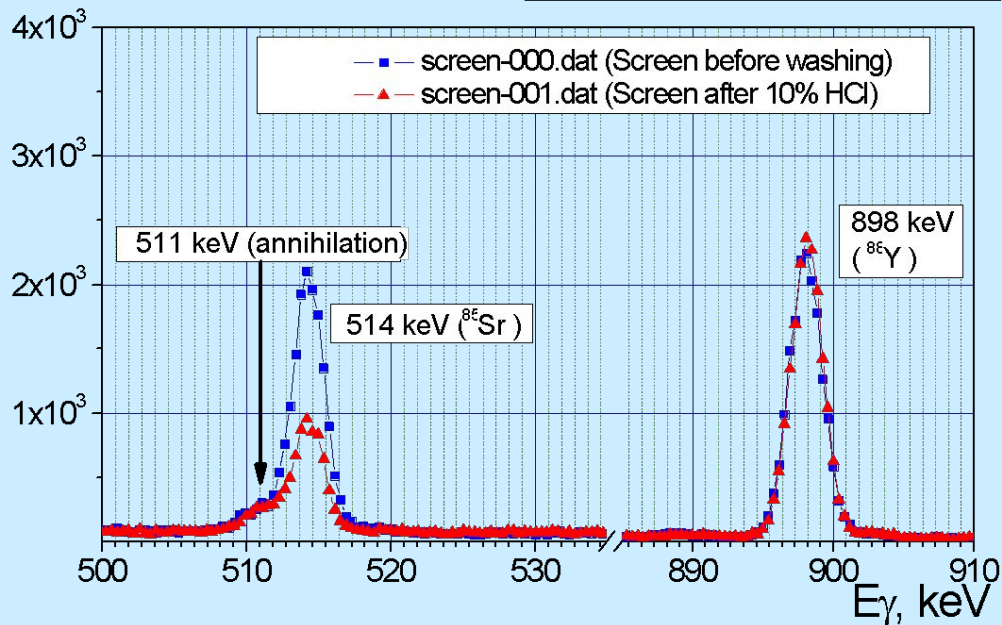
получены эффективности выделения стронция-82 (более 90%) из разных мишенных материалов - UC_2 , RbCl, металлического рубидия.

Получена эффективность выделения изотопов радия (более 90%) из мишени урана-238 высокой плотности. Полученные результаты позволяют рассчитывать на высокий выход активности Ra-223,224 (около 2 Ки) из высокотемпературной мишени карбида тория, рабочий прототип которой изготовлен в НПО "ЛУЧ" и поставлен в ПИЯФ.

С использованием источника поверхностной ионизации из монокристалла вольфрама с работой выхода внутренней поверхности 5 эВ получена эффективность ионизации радиоактивных атомов стронция выше 40%. Увеличение длины источника до 50 мм позволит получить эффективность Ионизации более 80%.

Count

Screen washing tests

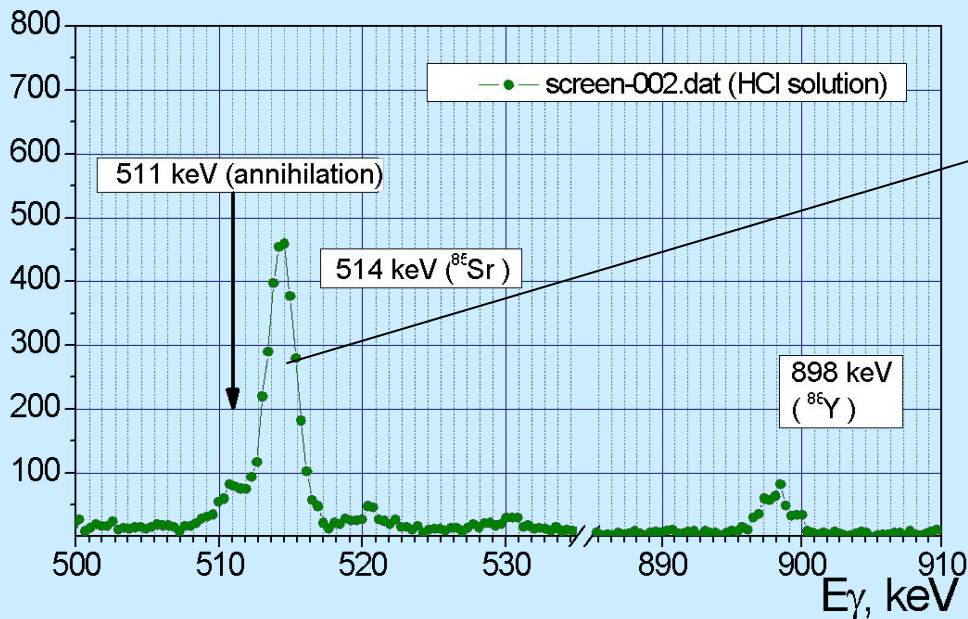


Смывка высаженного стронция соляной кислотой

| E_{γ} | 514 | 898 | |
|-----------------|-------------|-------------|--|
| Sγ до смывки | 15150 (150) | 17390 (160) | |
| Sγ после смывки | 7090 (100) | 17740 (170) | |
| Sγ смывое в HCl | 3220 (60) | 470 (30) | |
| % смывого в HCl | 53% | <2.7% | |

Count

Screen washing tests

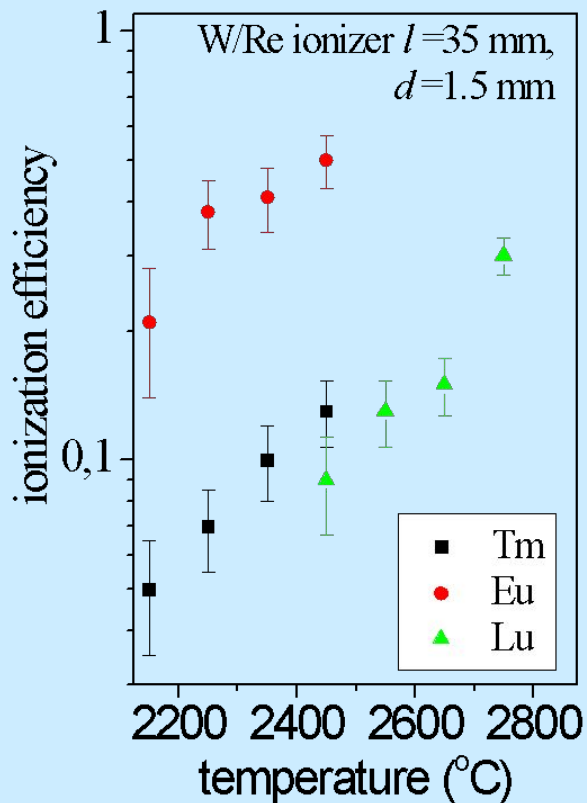


Гамма-спектр раствора Sr-85 в 10% соляной кислоте

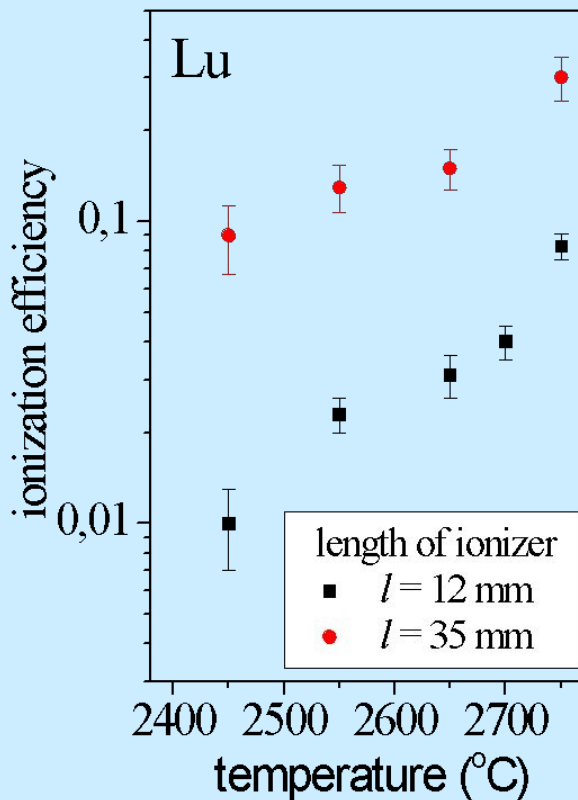
Эффективность ионизации атомов некоторых элементов

(V.N. Panteleev et al., Rev. Sci. Instrum., Vol. 73, No. 2, p.738, February 2002).

Эффективность ионизации стабильных
Изотопов Eu, Tm и Lu в зависимости
от температуры



Эффективность ионизации
Lu для ионизаторов различной длины
в зависимости от температуры



Эффективность поверхностной
ионизации:

$$\varepsilon_i = \alpha / (1 + \alpha),$$

где

$$\alpha = n_i / n_0 \approx \exp [(\varphi - V_i) / kT]$$

Работа выхода W/Re : 5.2 eV.

Ионизационные потенциалы (eV) :

$V_i(\text{Lu}) = 6.15$

$V_i(\text{Tm}) = 6.14$

$V_i(\text{Eu}) = 5.67$

Для щелочных элементов Li, Na, K, Rb and Cs
эффективность ионизации близка к 100%.

Ионизационный потенциал стронция: $V_i(\text{Sr}) = 5.69$ eV,

**Т.е. ожидаемая эффективность ионизации стронция
близка к 100%**



2000 -2012

**Монтаж оборудования циклотрона Ц-80
завершен, в камере получен высокий вакуум**

Планируемый вывод пучка – конец 2013 г.

Выход на полную интенсивность –2014г.

**Изготовлены три протонных тракта
к мишеням РИЦ-80.**



2012 -2013

**РИЦ-80 (Радиоактивные Изотопы
на циклотроне Ц-80)**

Создание проекта - 2012 -2013 г.;
**(профинансировано, в 2013 должно быть
закончено и отправлено на госэкспертизу)**



2013

Строительство комплекса - 2014 -2016 г.
**Получение небольших количеств (0.1 - 0.2 Ки)
генераторного радиоизотопа Sr-82 – 2014 г.**

Распределение возможности наработки нуклидов по трем направлениям

| | Масс-сепаратор мишень | Сухое выделение мишень | Классическое направление мишень |
|--------|-------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| SR-82 | YC, Rb | Rb, RbCl, YC | Rb |
| Ge-68 | - | Ga | Ga |
| Mo -99 | Mo(разр. спец. ионн. ист.) | Mo | - |
| In-111 | Sn | Cd | Cd |
| I-123 | Te | - | Xe |
| I-124 | Te | Te | |
| Tb-149 | GdC | - | - |
| Ra-223 | ThC | ThC | - |
| F-18 | - | - | H ₂ O |

