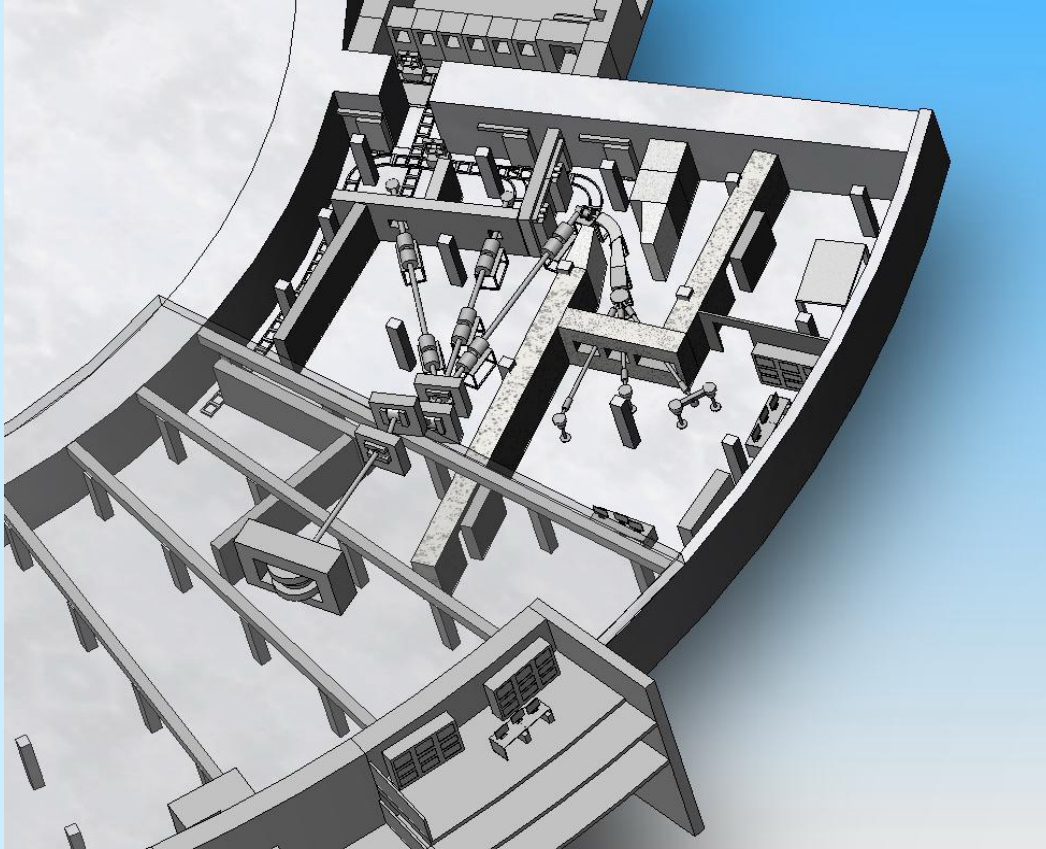


**РАДИОИЗОТОПНЫЙ КОМПЛЕКС РИЦ-80. РАЗРАБОТКА НОВЫХ  
МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ ГЕНЕРАТОРНОГО ИЗОТОПА  
Sr-82 И ДРУГИХ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОТОПОВ**

## Радиоизотопный комплекс РИЦ-80



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

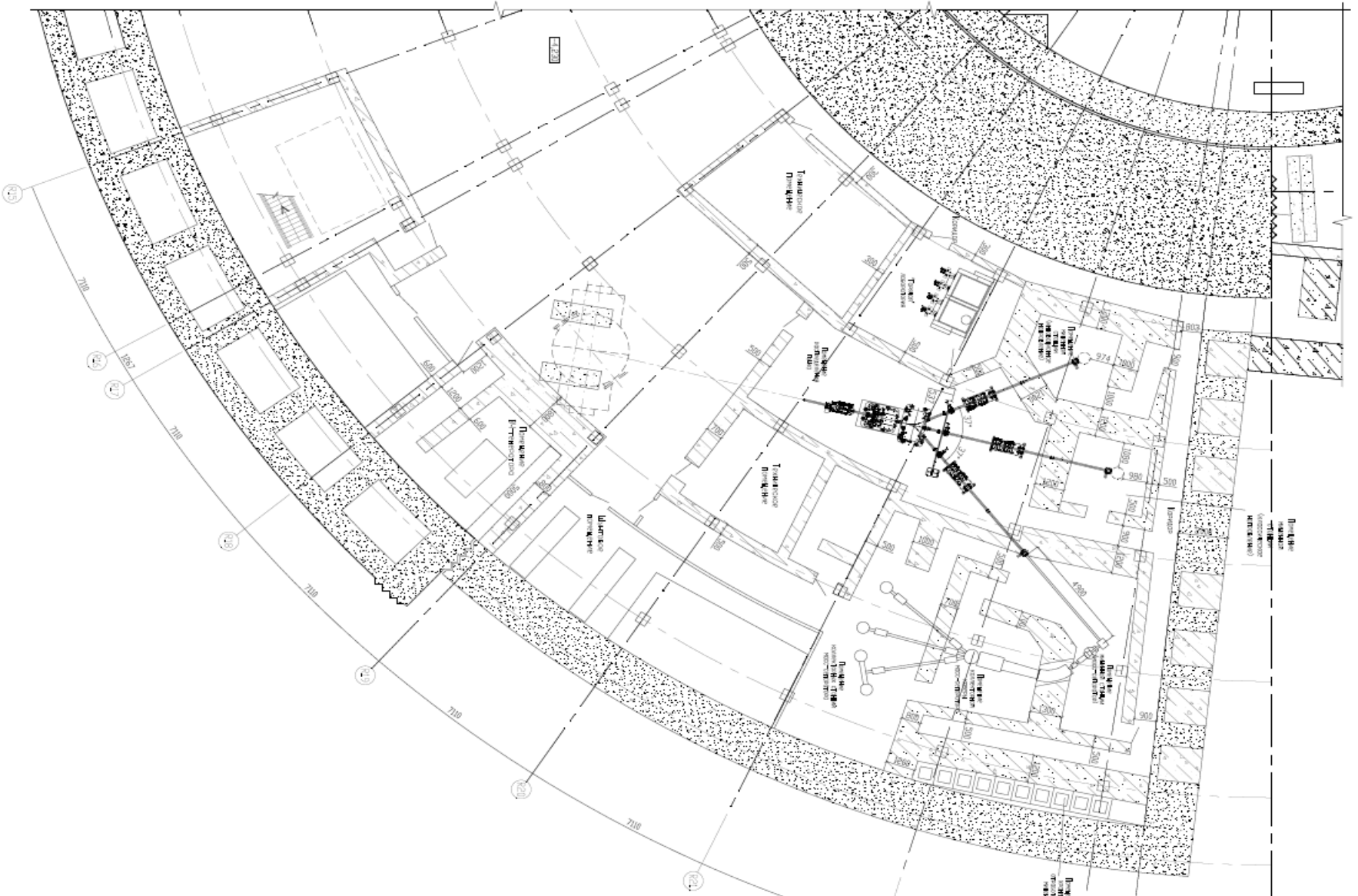
Система автоматической транспортировки для перемещение облученных мишеней в горячие камеры.

Энергия выведенного протонного пучка 40-80 МэВ и интенсивность до 200 мкА обеспечивают самые широкие возможности в получении 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, Ga-67, Br-77, Rb-81, At-211**.



**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.**

## 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 РФП.

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

## Распределение возможности наработки нуклидов по трем направлениям

	Масс-сепаратор мишень	Сухое выделение мишень	Классическое направление мишень
SR-82	YС, Rb	Rb, RbCl, YС	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 <sub>2</sub> O



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

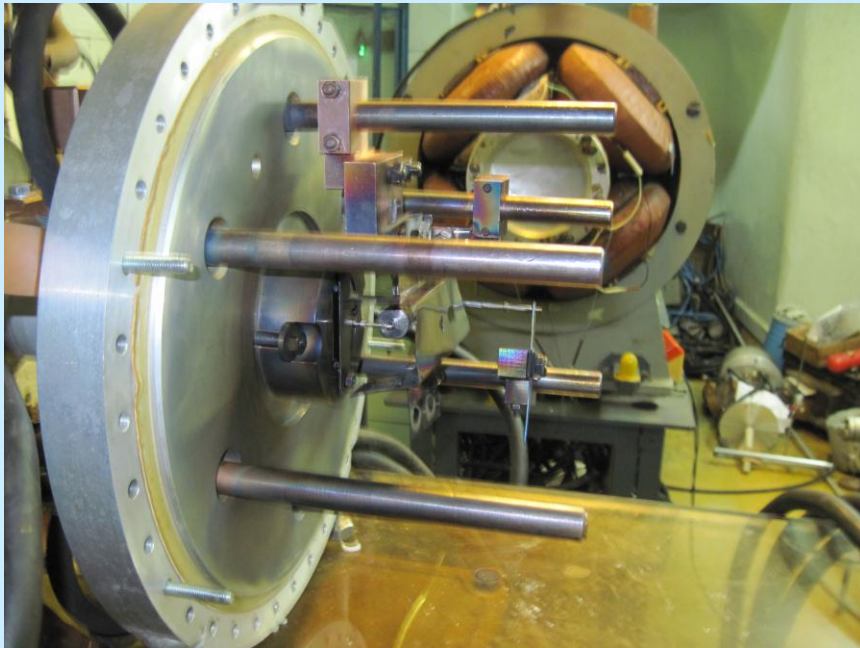


## Главные особенности масс-сепараторного и высокотемпературного «сухого» метода получения медицинских радионуклидов

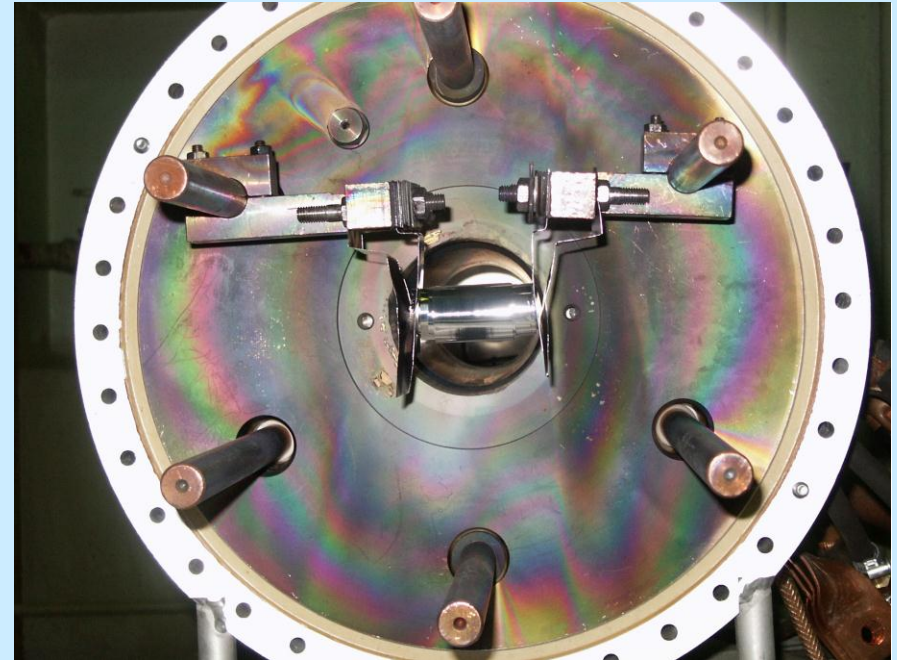
1. Новизна, возможность применения для получения широкого круга медицинских радионуклидов
2. Универсальность ( в том и другом методе используются идентичные мишенные устройства, разрабатываемые на основе мишенных устройств, созданных и используемых на установке ИРИС
3. Выделение производимых радионуклидов 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

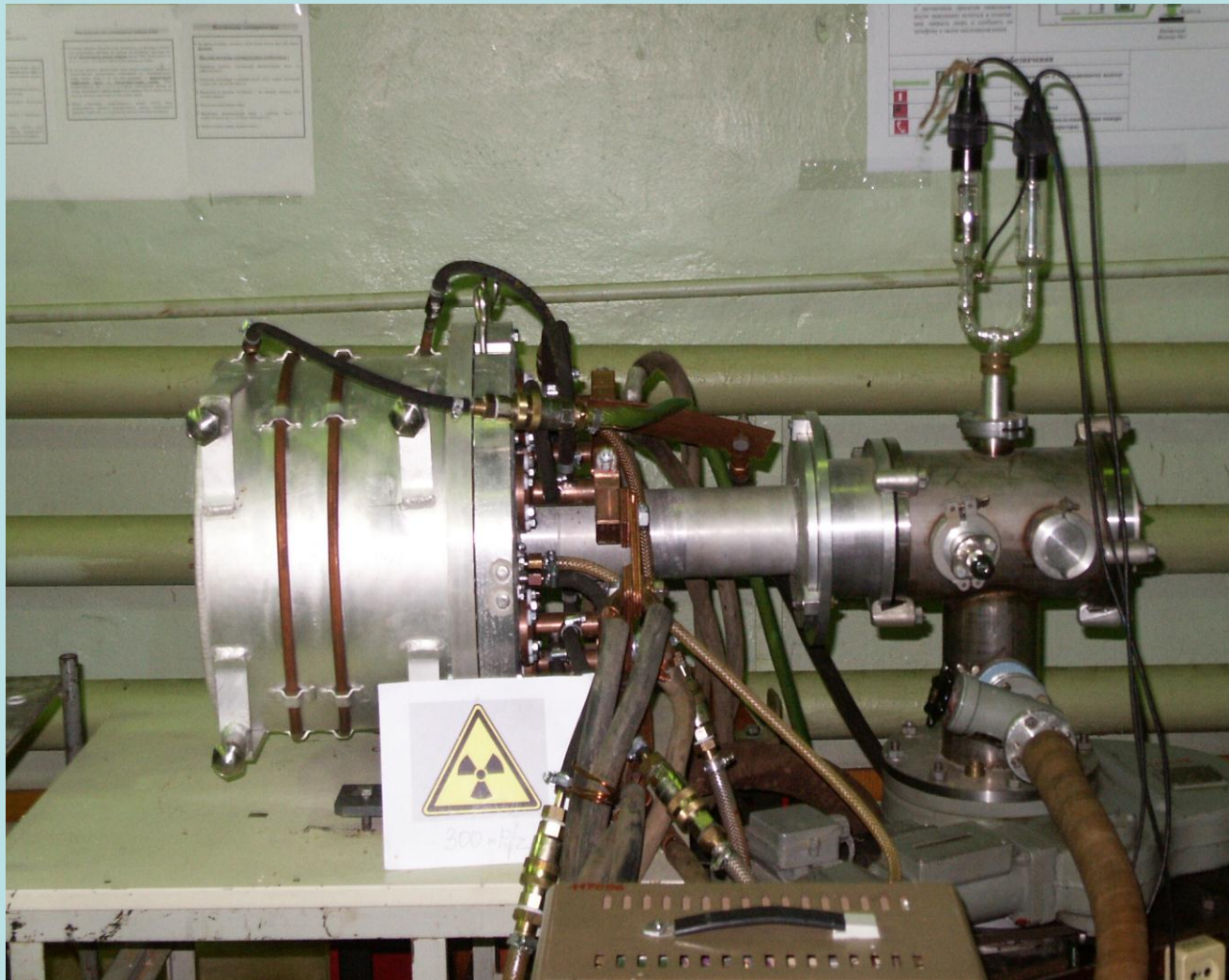


На вакуумном стенде



Масса мишенного вещества до  $10 \text{ г/см}^2$ , 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 $^{82}\text{Sr}$ из облученной мишени из $\text{Y}\text{C}_2$ .



Температура мишенного вещества:

до 2500 °С

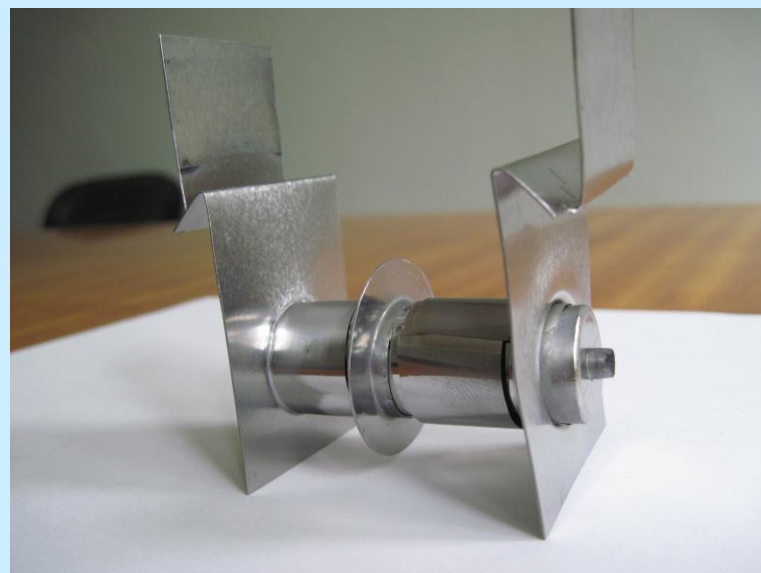
Выделяемая на мишени мощность:

более 9 кВт

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

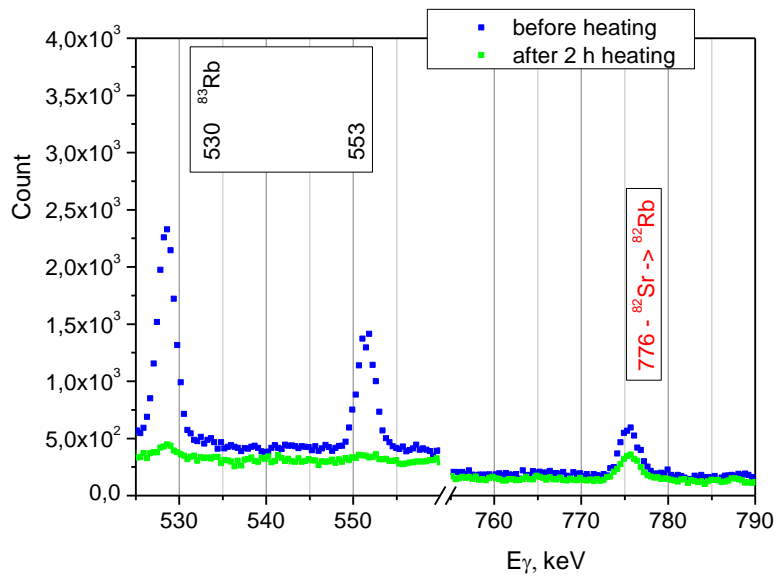


## Рабочие прототипы мишеней для РИЦ-80



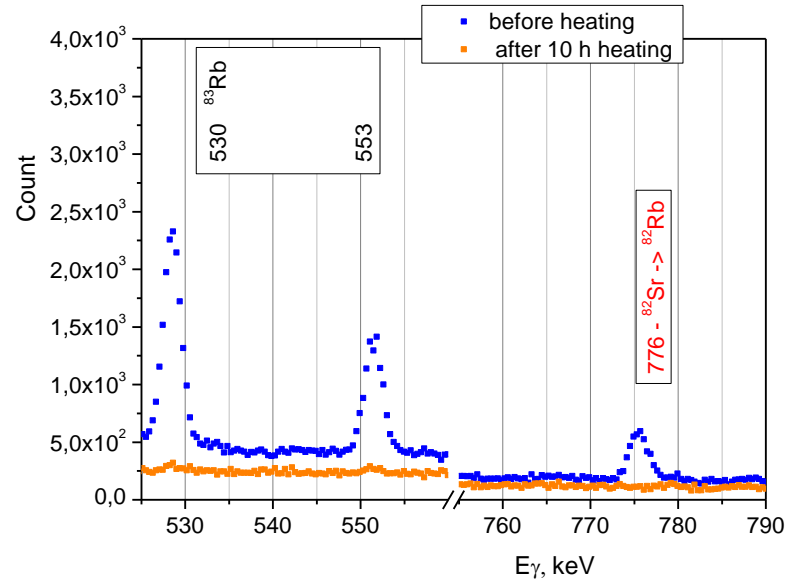
# Выделение Sr-82 из мишени из дикарбида иттрия и хлористого рубидия

# Гамма спектры облученных мишеней $УС_2$ 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  $1500\text{ }^\circ\text{C}$  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  $1500\text{ }^\circ\text{C}$  в течение 10-ти часов.

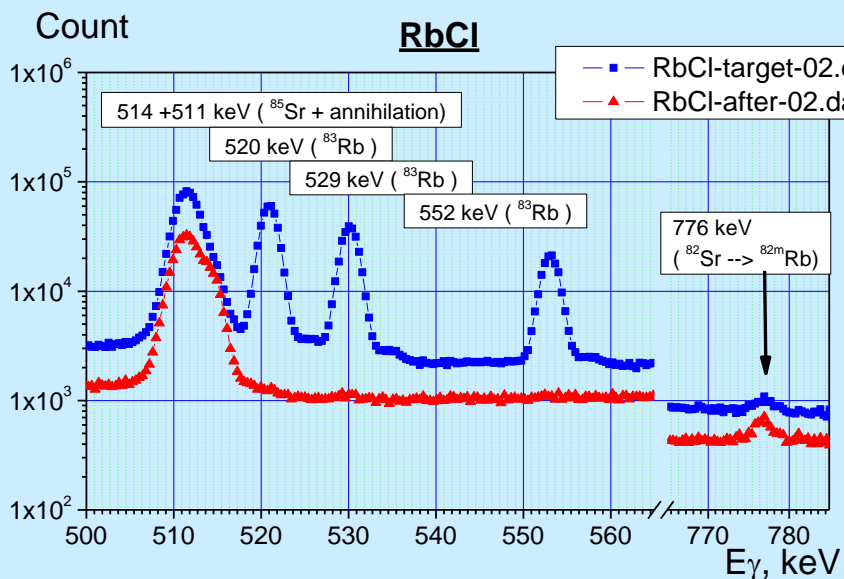
Эффективность выделения для рубидия 98%, для стронция 98%.

**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<sup>2</sup> эффективность выделения стронция-82 за 10 часов нагрева при температуре 1500 °С составляет величину близкую к 100%.

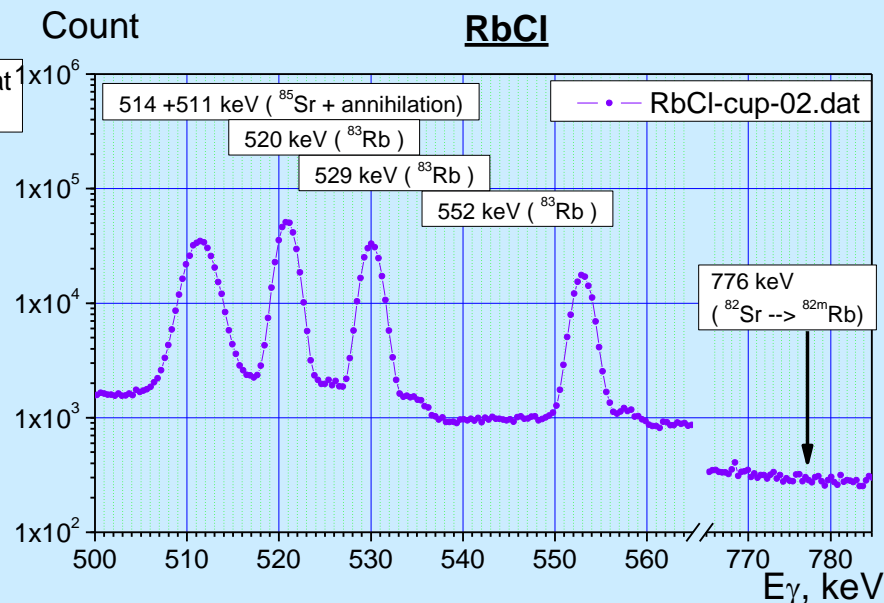


# Гамма спектры облученных мишеней RbCl до и после нагрева в мишенном контейнере



Часть гамма-спектра облученного порошка хлористого рубидия до его нагрева и после нагрева при температуре 800 °C в течение 2-ух часов.

Эффективность выделения стронция 92%.



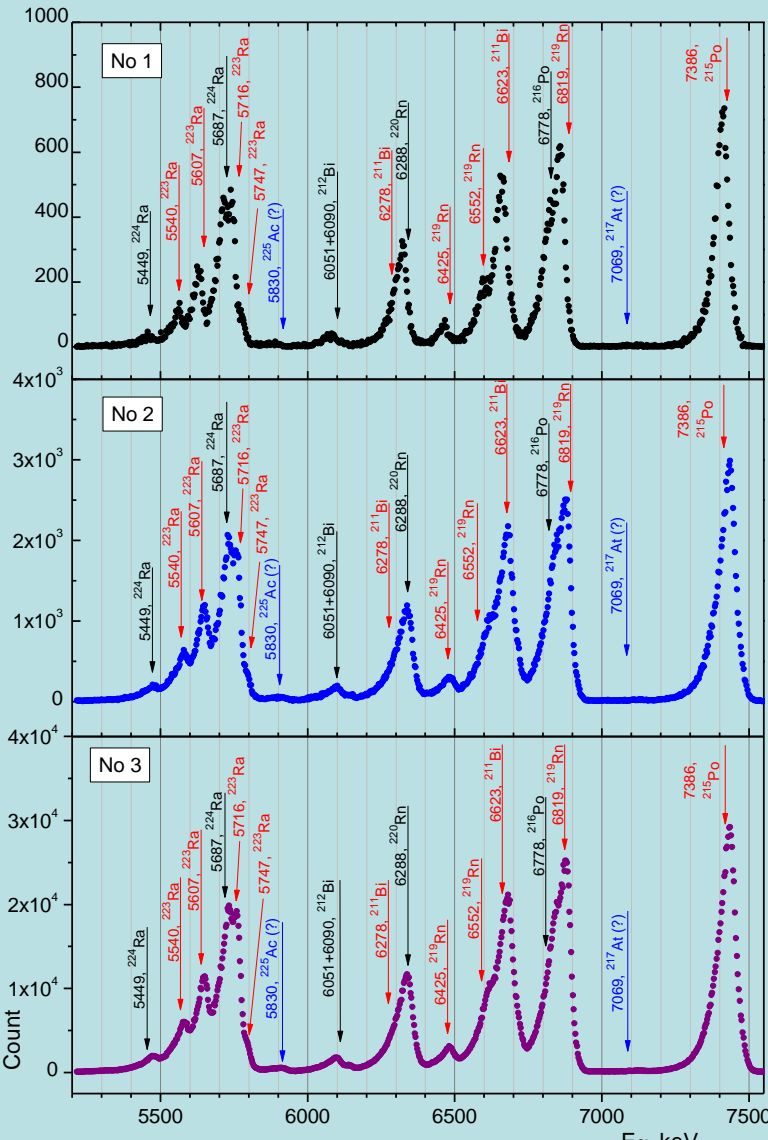
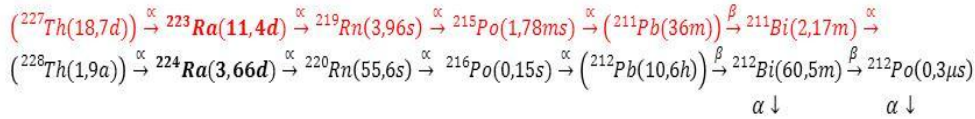
Часть гамма-спектра облученного порошка хлористого рубидия, испаренного в балластный объем, после нагрева при температуре 800 °C в течение 2-ух часов.

Эффективность выделения для рубидия в балластный объем близка к 100%

**В настоящее время готовится эксперимент по выделению стронция-82 таким же методом из облученной мишени металлического рубидия**

Выделение изотопов  $^{223}\text{Ra}$  и  $^{224}\text{Ra}$ , распадающихся  $\alpha$ -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 температурах

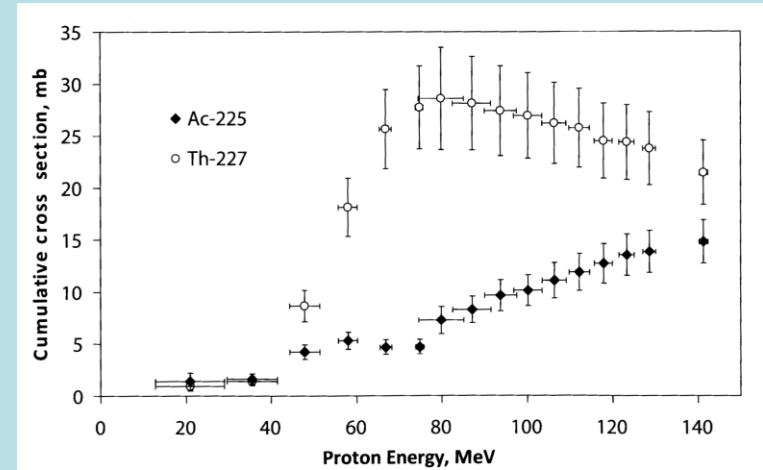


$T = 1900\text{ }^{\circ}\text{C}$   
 Эффективность  
 выделения  
 около 2%

$T = 2100\text{ }^{\circ}\text{C}$   
 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



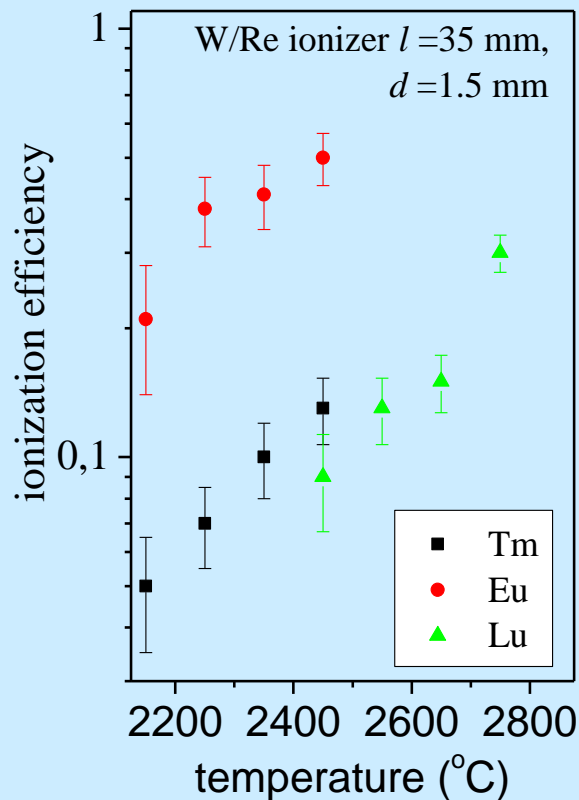
Сечение получения  $^{225}\text{Ac}$  и  $^{227}\text{Th}$  из ториевой мишени ( $^{232}\text{Th}$ ) (S. Ermolaev, B Zhuikov et al., icis7 abstracts, p 32. 4-8 Sept. Moscow, Russia.)

# Измерение эффективности поверхностной ионизации радиоактивного стронция

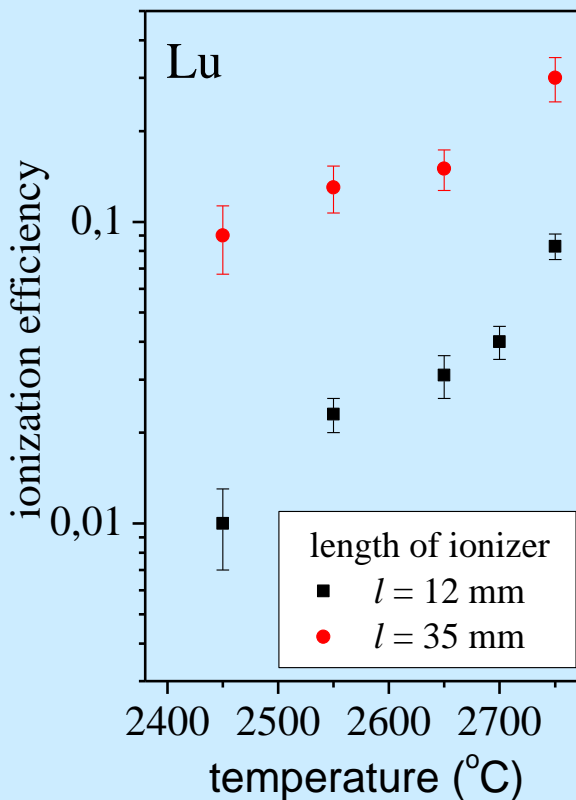
## Эффективность ионизации атомов некоторых элементов

(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%.

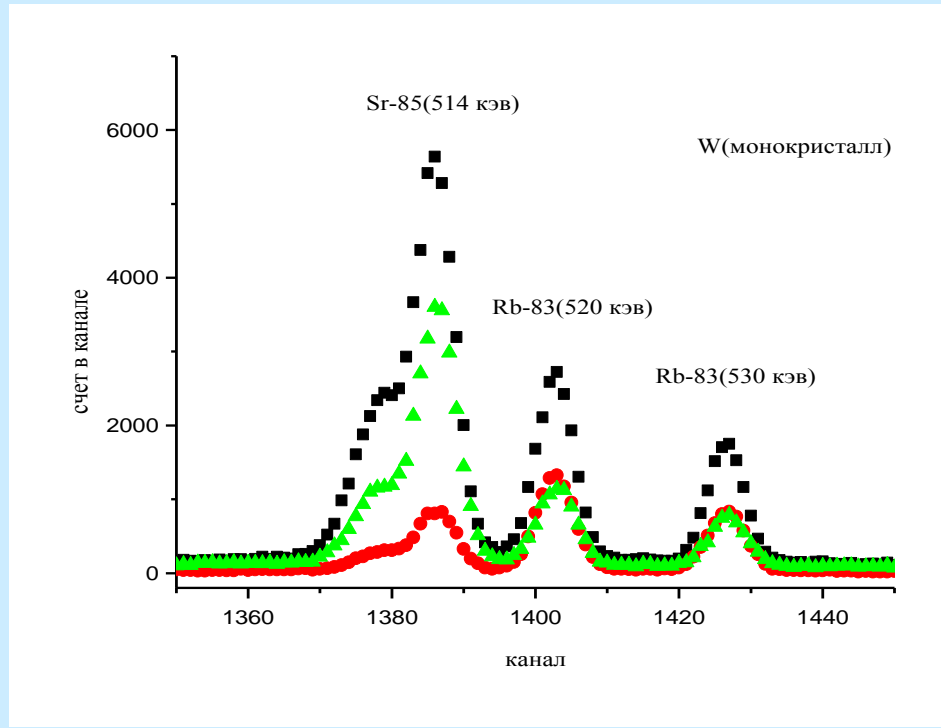
Ионизационный потенциал стронция:  $V_i(\text{Sr}) = 5.69$  eV,

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

# 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 °С равна 84%, стронция 45%

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

## Итоги

### Для разрабатываемых прототипов мишеней для РИЦ-80:

получены эффективности выделения стронция-82 (более 90%) из разных мишенных мишенных материалов –  $Y_2C_3$ , RbCl. Следующий этап – измерение эффективности выделения из облученного металлического рубидия, т.к. использование металлического рубидия обеспечивает максимальную наработку в мишени стронция-82.

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 мишени из высокотемпературной мишени карбида тория, которая изготовлена в НПО “ЛУЧ” и будет поставлена 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%.