



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



ПЕТЕРБУРГСКИЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

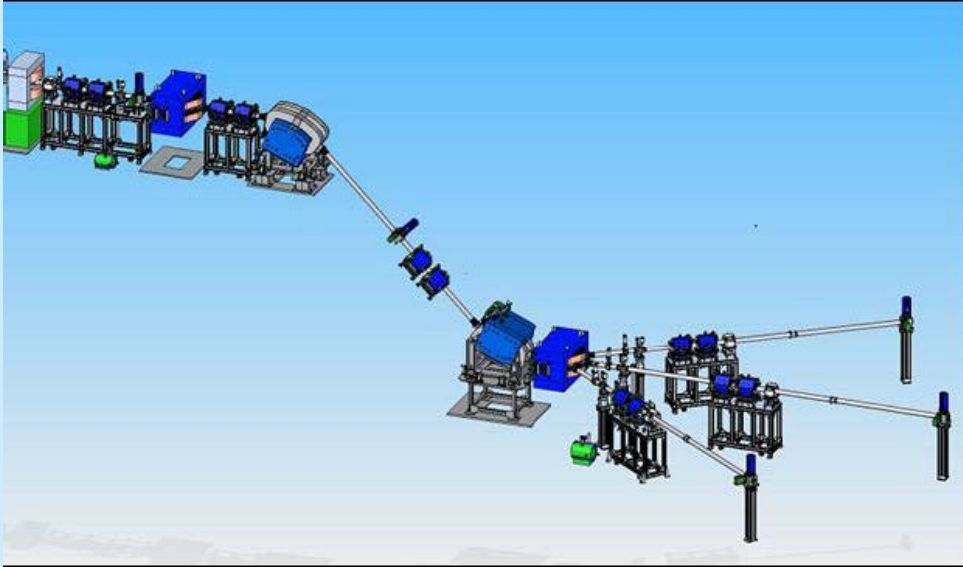
Россия, 188300, Ленинградская область, г. Гатчина, Орлова роща

**В.Н. Пантелеев**

**Радиоизотопный комплекс РИЦ-80.**

**Разработка инновационных методов получения радионуклидов**

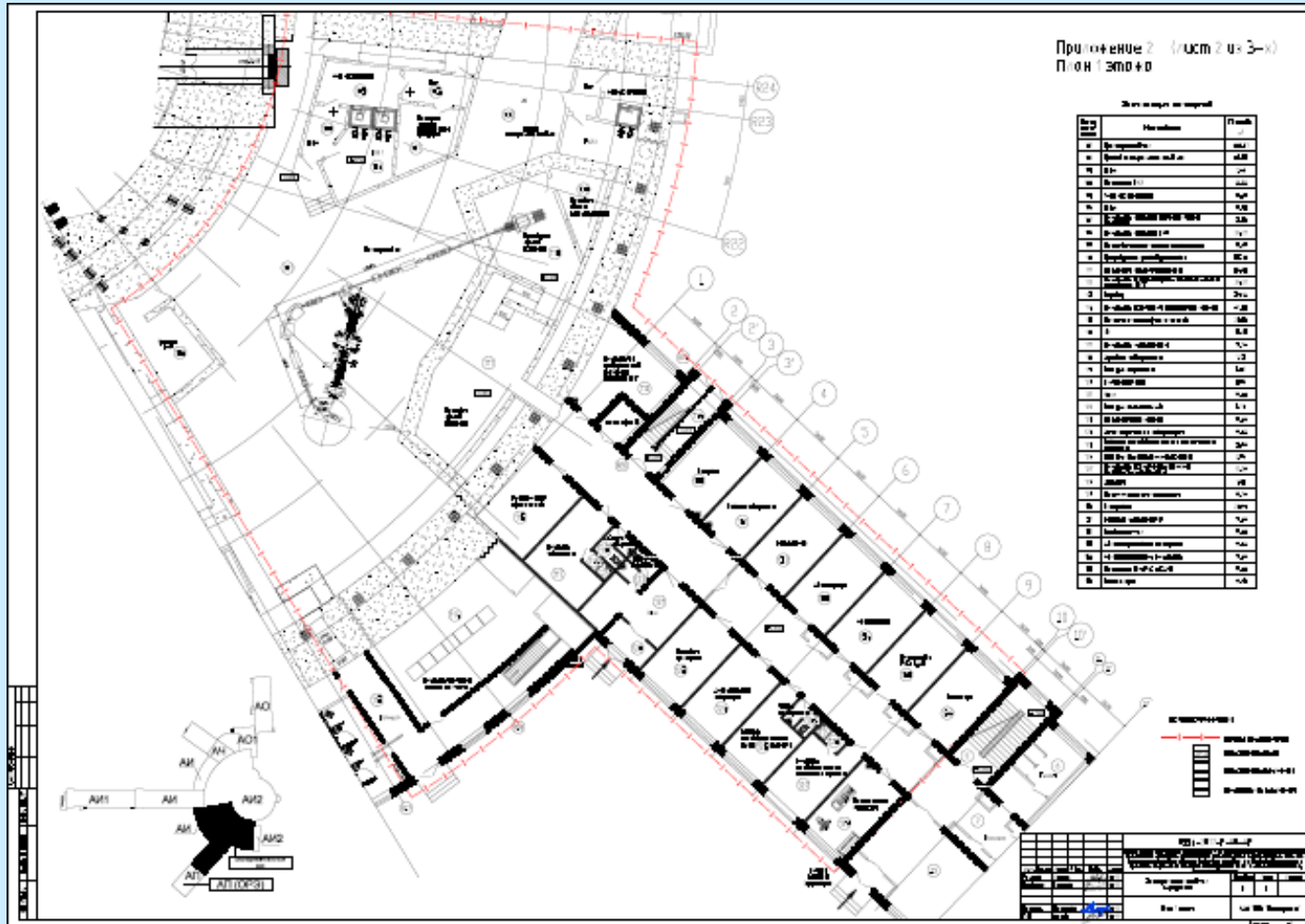
# Циклотрон Ц-80 с протонными трактами к мишенным станциям



- Три мишенные станции для производства медицинских радионуклидов
- Автоматическая транспортная система для транспортировки облученных мишеней в горячие камеры
- Для производства радионуклидов высокой чистоты на одной из мишенных станций будет установлен масс-сепаратор



# Проект медицинского офтальмологического комплекса на первом этаже экспериментального зала





## Радионуклиды, планируемые к получению на РИЦ-80

Расчеты активности для тока протонов  $I_p = 100 \mu A$

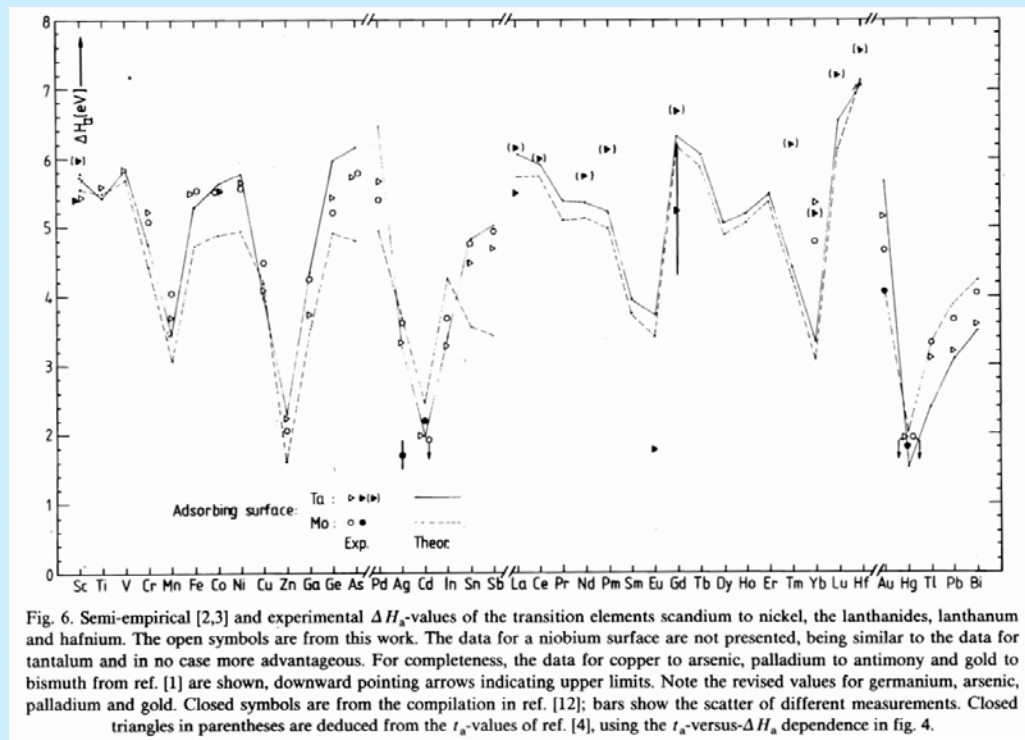
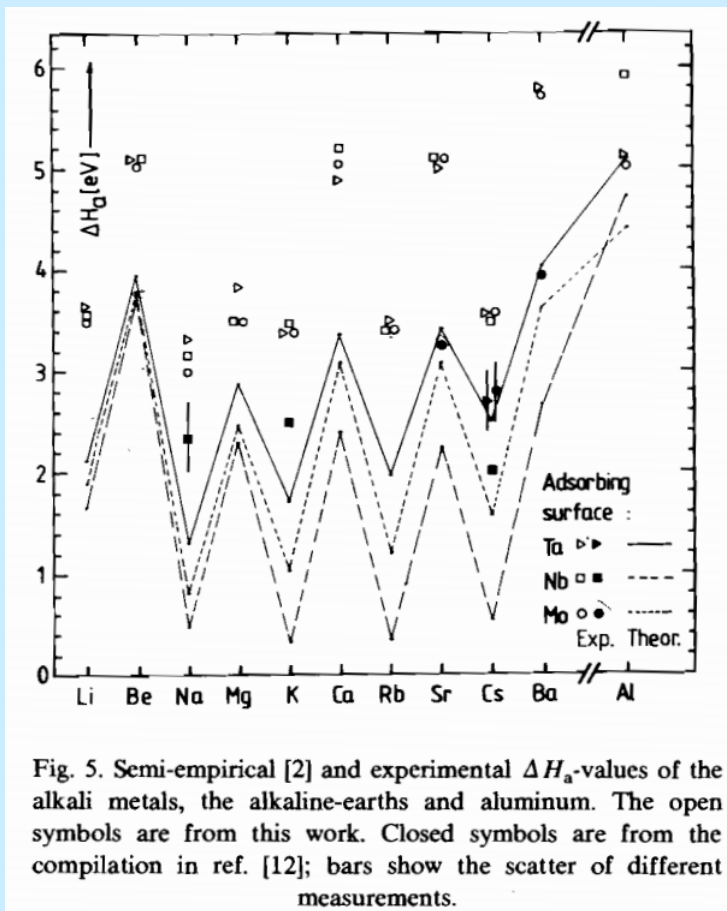
Радионуклид	$T_{1/2}$ Период полураспада	Мишень	Активность (Ки)
Ge-68	270.8 d	Ga	2
Sr-82	25.55 d	Rb	14
Tc-99	6 h	Mo	8
In-111	2.8 d	Cd	14
I-123	13.27 h	Te	25
I-124	4.17 d	Te	60
Tb-149	4.1 h	Gd	3
Ra-223	11.4 d	ThC	3
Ra-224	3.66 d	ThC	0.45
Ac-225	10 d	ThC	0.12

Красным помечены радионуклиды, которые планируется получать изотопически чистыми с использованием масс-сепаратора

**Высокотемпературные методы разделения целевых радионуклидов и мишенного материала**

# Значения энергий десорбции различных элементов с поверхности тугоплавких материалов (Nb, Mo, Ta)

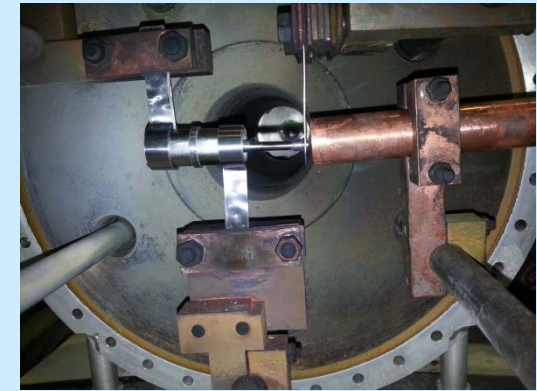
R. Kirchner, Nucl. Instr. and Meth. B26(1987) 204 -212



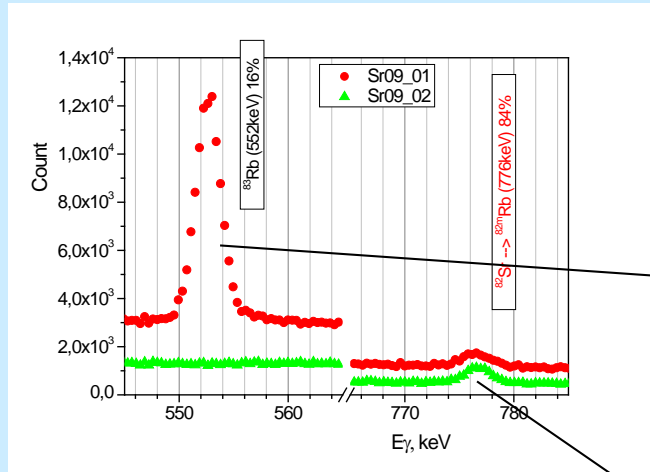
## Температуры кипения некоторых элементов, °C

Rb	Sr	Zn	Cu	Ga	Ge
688	1382	907	2562	2204	2833

# A new high temperature method "step by step" separation $^{82}\text{Sr}$ from irradiated RbCl target material



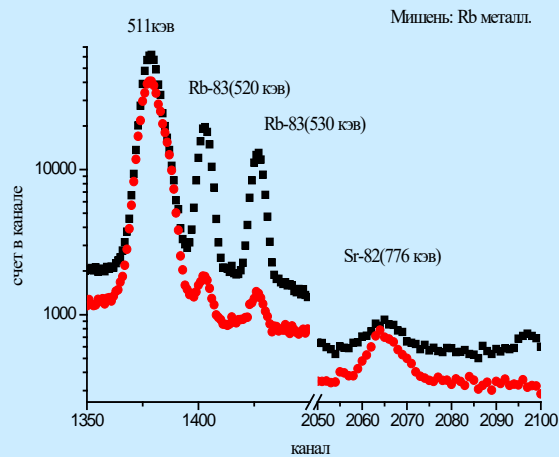
Cavity with RbCl before heating at a temperature lower  $800^\circ\text{C}$



Part of gamma spectra of irradiated RbCl before and after heating in vacuum at a temperature higher  $900^\circ\text{C}$  for 1 hour.

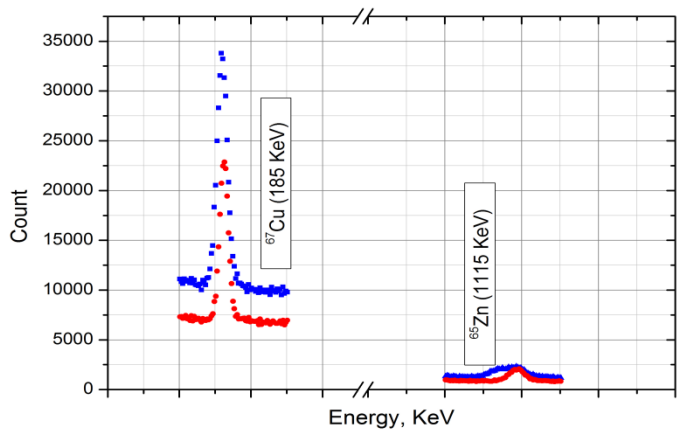


Cavity after heating at a temperature higher  $900^\circ\text{C}$ . Target material was completely evaporated

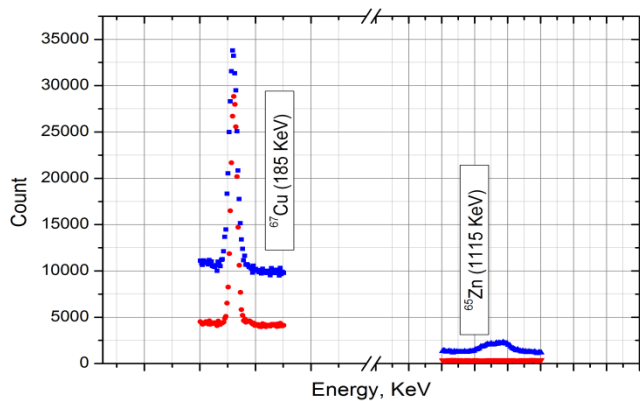


Part of gamma spectra of irradiated Rb (metal) before and after heating in vacuum at a temperature  $1000^\circ\text{C}$  for 1 hour.

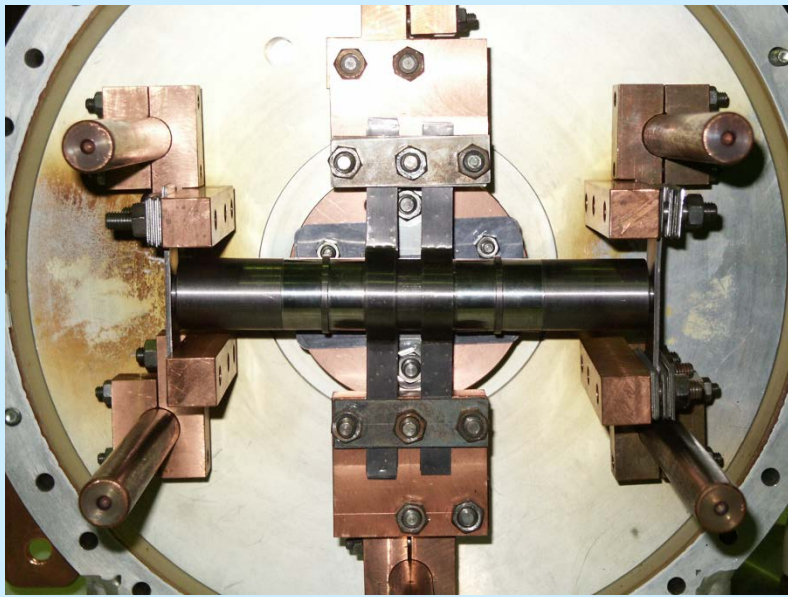




**Мишленные устройства для испарения мишенного материала**

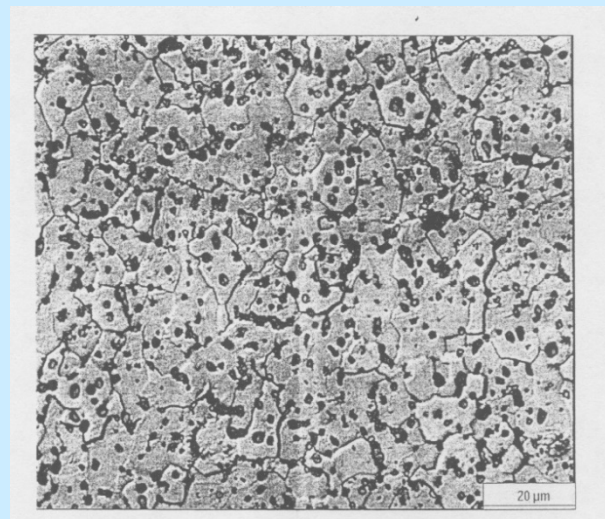


**Разделение медицинского радионуклида Cu-67  
И мишенного материала в виде металлического цинка**

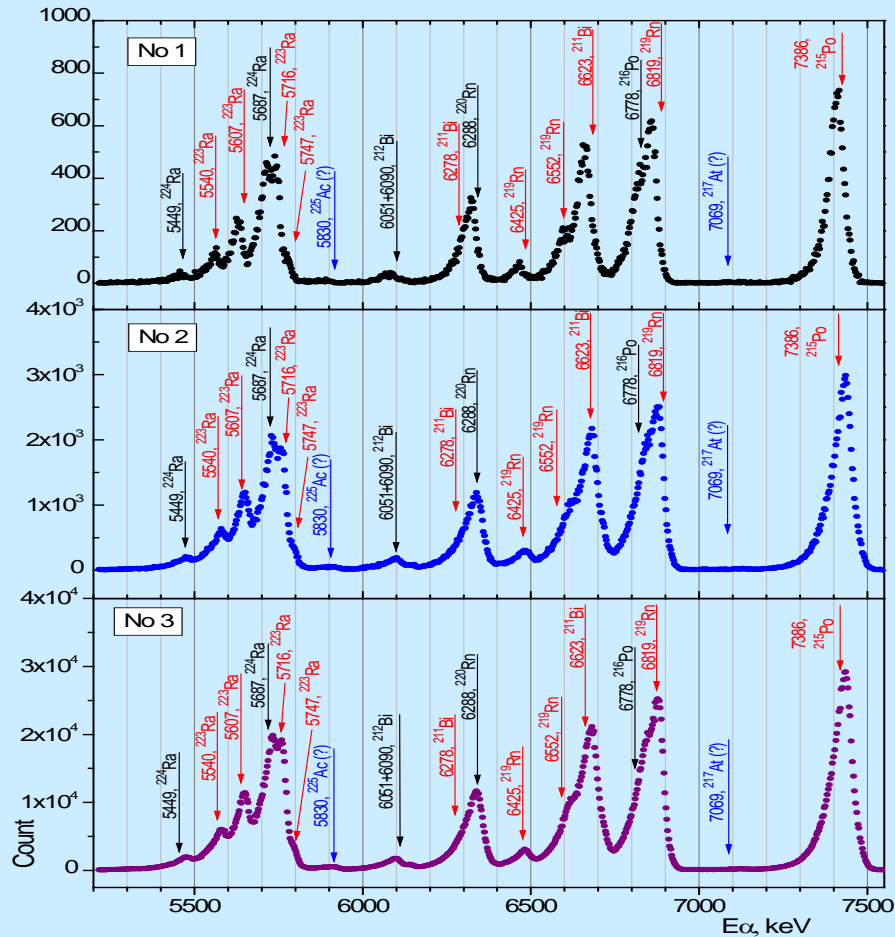


Мишенное устройство с мишенным веществом из монокарбида U-238, максимальной рабочей температурой 2400°C, и мощностью резистивного нагрева до 8 кВт

Мишенный материал - монокарбид урана ( $^{238}\text{UC}$ ) высокой плотности



Альфа-спектр радионуклидов выделенных из УС мишени, при температурах 1900°C, 2100°C, 2300-2400°C на охлаждаемый коллектор.  
Соответствующие эффективности выделения 2%, 10% и 90%.

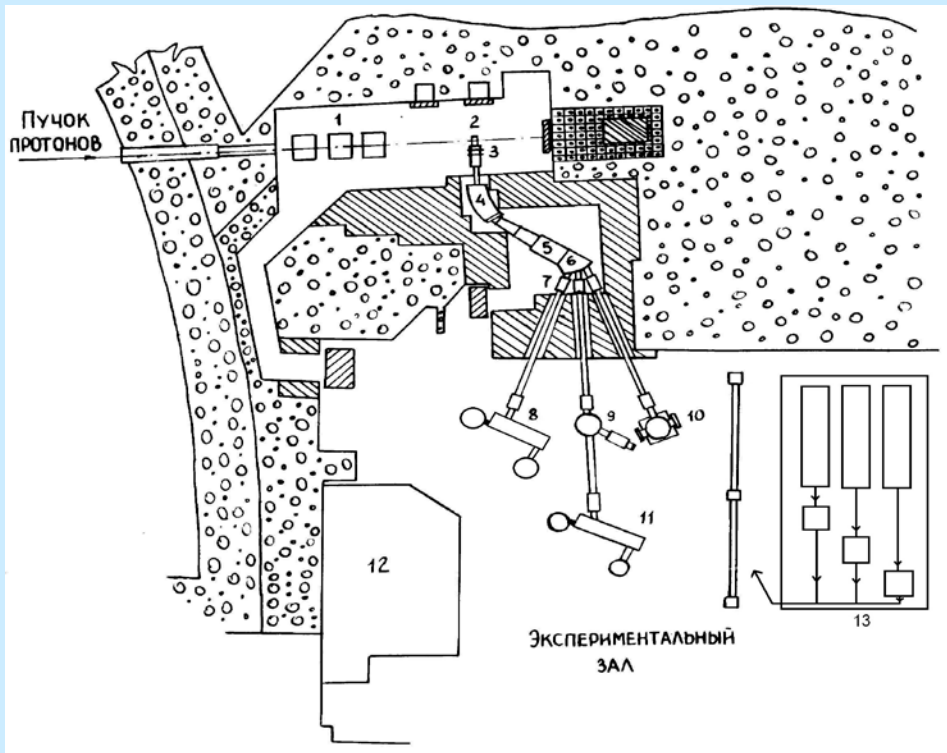


$^{227}\text{Th}(T_{1/2}=18,7\text{сут}) \rightarrow ^{223}\text{Ra}(T_{1/2}=11,4\text{сут}) \rightarrow ^{219}\text{Rn}(T_{1/2}=3,96\text{ с}) \rightarrow ^{215}\text{Po}(T_{1/2}=1,8\text{мс}) \rightarrow ^{211}\text{Pb}(T_{1/2}=36,1\text{мин}) \rightarrow ^{211}\text{Bi}(T_{1/2}=2,14\text{мин}) \rightarrow ^{207}\text{Tl}(T_{1/2}=4,77\text{мин}) \rightarrow ^{207}\text{Pb}(\text{стабильный})$

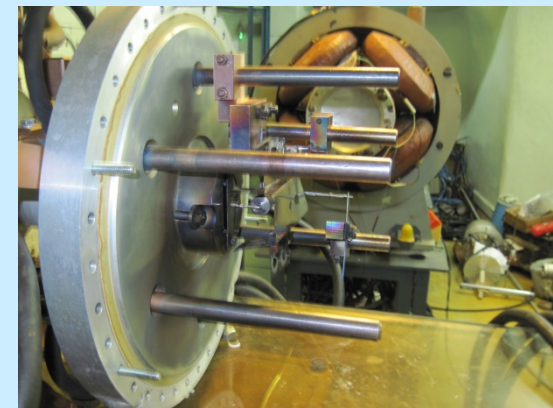
$^{228}\text{Th}(T_{1/2}=1,9\text{ е}) \rightarrow ^{224}\text{Ra}(T_{1/2}=3,66\text{ сут}) \rightarrow ^{220}\text{Rn}(T_{1/2}=56\text{ с}) \rightarrow ^{216}\text{Po}(T_{1/2}=145\text{ мс}) \rightarrow ^{212}\text{Pb}(T_{1/2}=10,6\text{ ч}) \rightarrow ^{212}\text{Bi}(T_{1/2}=25\text{ мин}) \rightarrow ^{208}\text{Tl}(T_{1/2}=3\text{ мин}) \rightarrow ^{208}\text{Pb}(\text{стабильный}).$

Получение разделенных по массам изотопов  $^{223,224}\text{Ra}$  и  $^{225}\text{Ac}$  в режиме on-line на масс-сепараторе ИРИС из мишени карбида урана высокой плотности

Тракт протонного пучка

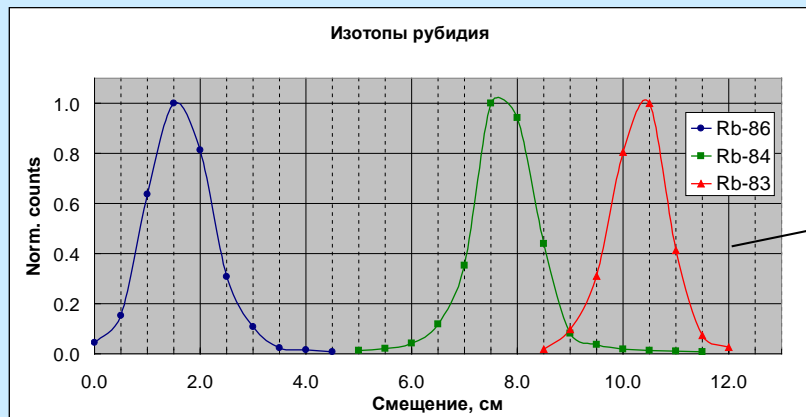


Мишенное устройство масс-сепаратора

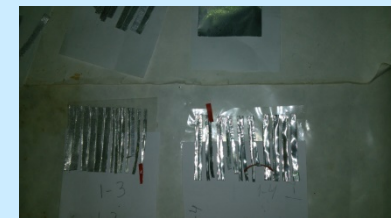
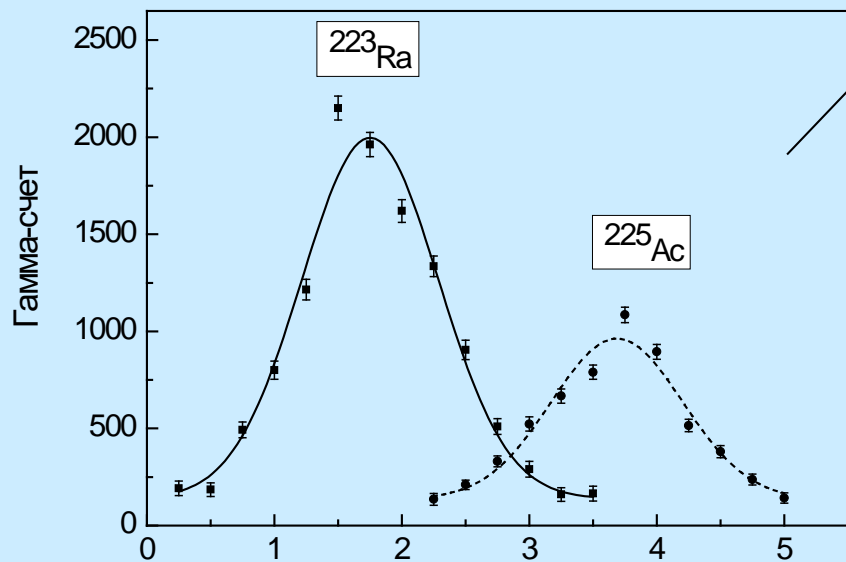
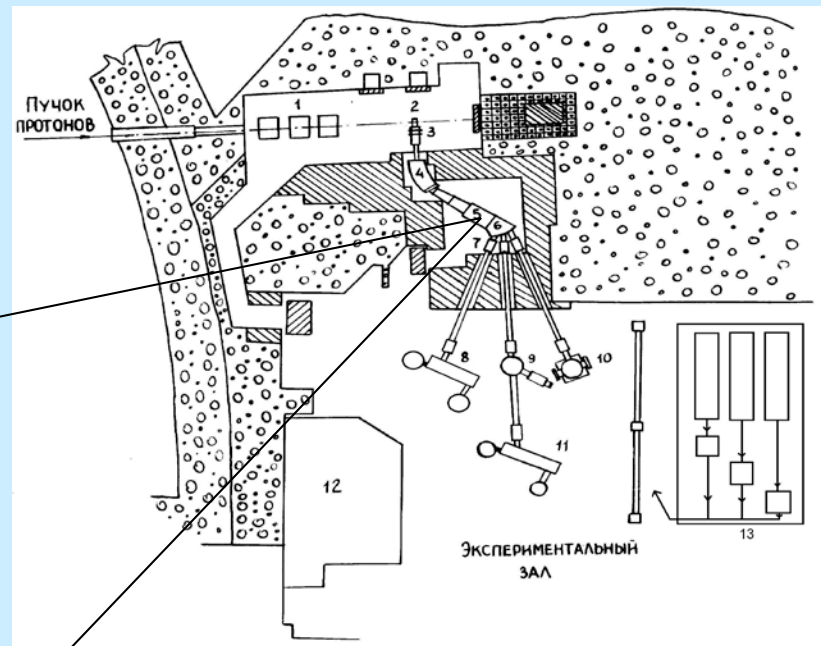


Масс-сепараторная установка ИРИС на пучке синхротрона ПИЯФ

Разделенные по массам радионуклиды рубидия, имплантированные в коллектор из алюминиевой фольги

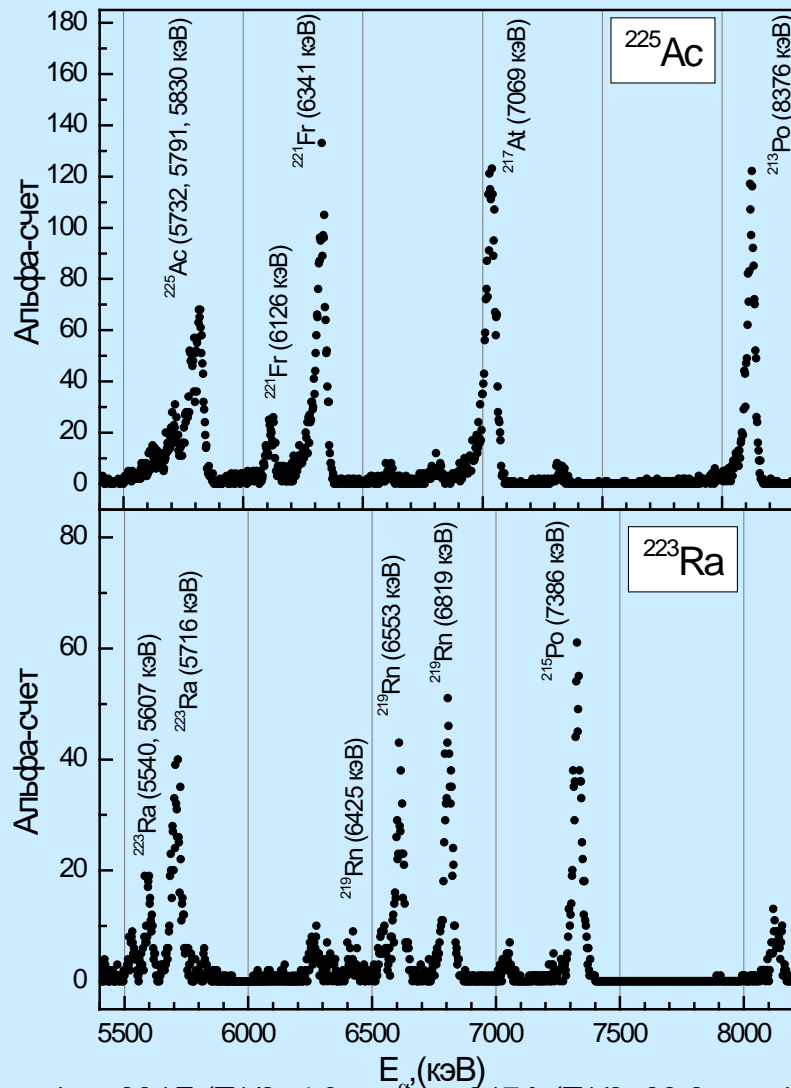


## Установка ИРИС



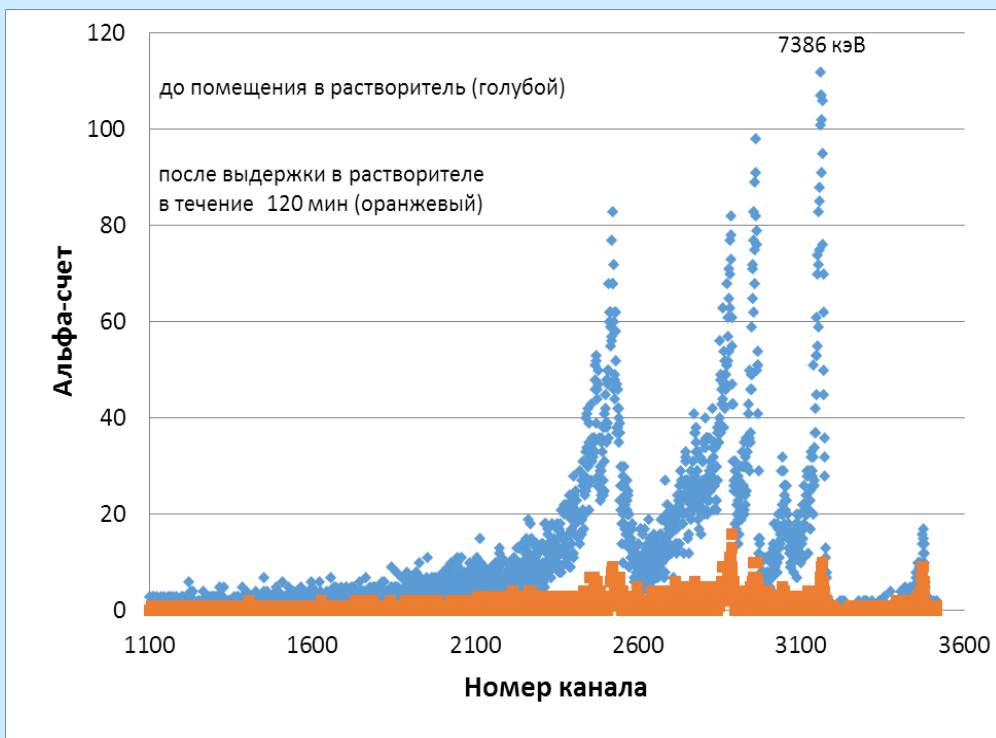
Разделенные по массам радионуклиды радия, и актиния, имплантированные в коллектор из алюминиевой фольги

# Альфа спектры разделенных с помощью масс-сепаратора изотопов $^{225}\text{Ac}$ , $^{223}\text{Ra}$



( $^{225}\text{Ac}$ ( $T_{1/2}=10$  сут)  $\rightarrow$   $^{221}\text{Fr}$ ( $T_{1/2}=4,9$  мин)  $\rightarrow$   $^{217}\text{At}$ ( $T_{1/2}=32,3$  мсек)  $\rightarrow$   $^{217}\text{Bi}$ ( $T_{1/2}=45,51$  мин)  $\rightarrow$   $^{213}\text{Po}$ ( $T_{1/2}=4,2$  мсек)  $\rightarrow$   $^{209}\text{Pb}$ ( $T_{1/2}=2,25$  ч)) и ( $^{223}\text{Ra}$ ( $T_{1/2}=11,4$  сут)  $\rightarrow$   $^{219}\text{Rn}$ ( $T_{1/2}=3,96$  с)  $\rightarrow$   $^{215}\text{Po}$ ( $T_{1/2}=1,8$  мс)  $\rightarrow$   $^{211}\text{Pb}$ ( $T_{1/2}=36,1$  мин)  $\rightarrow$   $^{211}\text{Bi}$ ( $T_{1/2}=2,14$  мин)  $\rightarrow$   $^{207}\text{Tl}$ ( $T_{1/2}=4,77$  мин)), имплантированных в алюминиевую фольгу-коллектор.

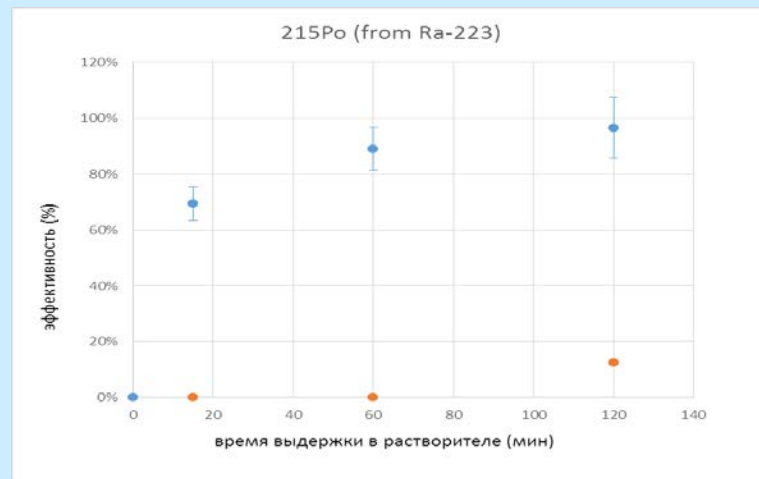
## Эффективность выделения радионуклида Ra-223 из вещества коллектора



Альфа-спектры, измеренные до помещения коллектора в растворитель (голубые точки) и после выдержки в растворе в течение 120 минут (оранжевые точки)

### Зависимость эффективности выделения Ra-223 от времени выдержки коллектора в растворе

Выдержка в кислоте, мин	Масса фольги после измерения, мг	Эффективность смыва вещества коллектора, %	Po-215 S (7386 кэВ)	$\Delta S$	Эффективность выделения, %
0	40		3180	60	0%
15	40	0%	970	40	69%
60	40	0%	350	20	89%
120	35	13%	110	10	97%



2017

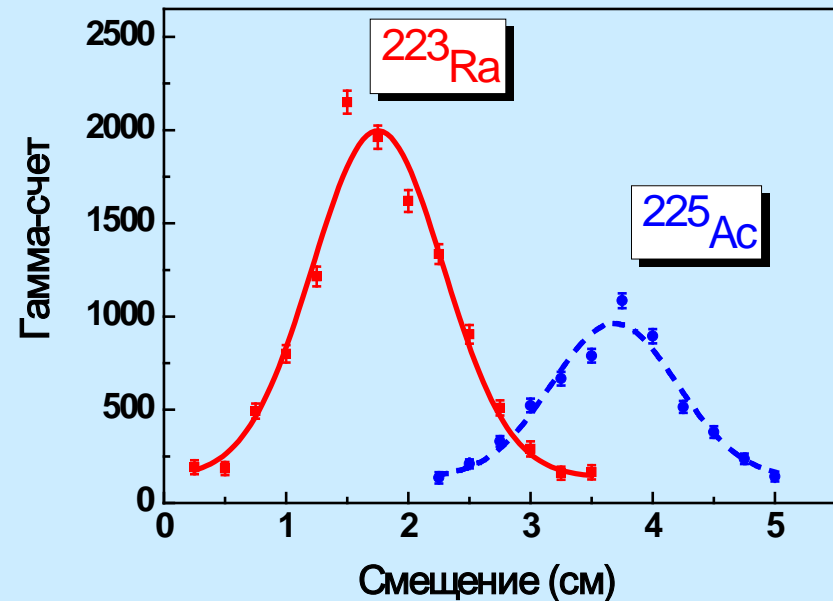
## Получение медицинского изотопа Ra-223 инновационным масс-сепараторным методом

- ❖ Радионуклид  $^{223}\text{Ra}$ , распадающийся с испусканием альфа-частиц, используется в терапии злокачественных опухолей на самой ранней стадии их развития.
- ❖ Для производства сверхчистых образцов  $^{223}\text{Ra}$  разработан инновационный масс-сепараторный метод, планируемый к применению на ускорительном комплексе РИЦ-80 в ПИЯФ НИЦ Ки.

### Вид зала мишеней станций комплекса РИЦ-80



### Разделенные радионуклиды $^{223}\text{Ra}$ и $^{225}\text{Ac}$ , имплантированные в коллектор масс-сепаратора



V. N. Pantelev\*, A. E. Barzakh, L. Kh. Batist, D. V. Fedorov, V. S. Ivanov,  
S. A. Krotov, F. V. Moroz, P. L. Molkanov, S. Yu. Orlov, Yu. M. Volkov

RAD Conference Proceedings, vol. 2, pp. 43–47, 2017  
[www.rad-proceedings.org](http://www.rad-proceedings.org)



## Заключение

Разработан метод высокотемпературного выделения целевых радионуклидов в высоком вакууме.

Также использовался масс-сепараторный метод, когда образующиеся в мишени, разделенные по массам радионуклиды в режиме «он-лайн» имплантировались в соответствующие коллекторы для последующего измерения накопленных активностей с помощью альфа и гамма детекторов.

Показано, что оба метода обеспечивают достаточно высокую эффективность выделения произведенных радиоизотопов из мишенного вещества при его рабочей температуре 2300–2400 °С.

Малая глубина имплантации ионных пучков в приемный коллектор позволяет проводить эффективное извлечение (эффективность извлечения 80–90 %) имплантированных радиоизотопов с использованием 3–4 см<sup>3</sup> пятипроцентной соляной или азотной кислоты за время около двух часов.

В заключение необходимо указать, что мишенное вещество карбид тория, планируемое для получения вышеуказанных, распадающихся альфа-распадом радионуклидов, обладает сходными с монокарбидом урана физико-химическими свойствами – температурой плавления, температурой кипения, плотностью. Сечения образования данных нуклидов в ториевой мишени на протонных пучках энергии 70–80 МэВ позволяют получать активности от 0.1 до 3 Ки.

## Планы на 2018:

### Работы, представленные в качестве аванпроектов в Росатом:

Разработка инновационного метода получения генераторного радионуклида  $\text{Mo-99/Tc-99}$  - **4 млн. руб.**

Разработка инновационного масс-сепараторного метода получения  $^{223,224}\text{Ra}$ ,  $^{225}\text{Ac}$  и других медицинских радионуклидов высокой чистоты - **4.5 млн. руб.**

Разработка инновационных мишенных устройств для получения генераторных радиоизотопов  $^{82}\text{Sr}$ ,  $^{68}\text{Ge}$  и других медицинских радионуклидов на радиоизотопном комплексе РИЦ-80 - **4 млн. руб.**

### Совместная работа с ИФВЭ (Тротвино)

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ на НИОКР.

Разработка и температурное тестирование прототипа мишени для получения генераторных радионуклидов  $\text{Sr-82}$ ,  $\text{Ge-68}$  и других радиоизотопов для медицины - **2 млн. руб.**

## Оценочная стоимость этапов НИОКР по РИЦ-80

1. Создание стенда и прототипов мишеней для работы с выделяемой мощностью до **8 кВт - 2 млн. руб.** (водяное охлаждение)
2. Доведение выделяемой мощности до **16 кВт**. Разработка и испытания соответствующих мишеней (после успешного завершения п.1, водяное охлаждение) - **5 млн. руб.**
3. Создание экспериментальной мишенной станции для масс-сепараторного выделения радионуклидов - **50 млн.руб** + масс-сепаратор - **70 млн руб**
4. Создание двух экспериментальных мишенных станций - высокотемпературного (сухого) и радиохимического выделения радионуклидов **40 + 30 млн.руб.**

В указанную стоимость не входит стоимость системы транспортировки мишеней и стоимость горячих камер.