



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
**«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»**



**ПЕТЕРБУРГСКИЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ  
ФИЗИКИ**  
Россия, 188300, Ленинградская область, г. Гатчина, Орлова дош.

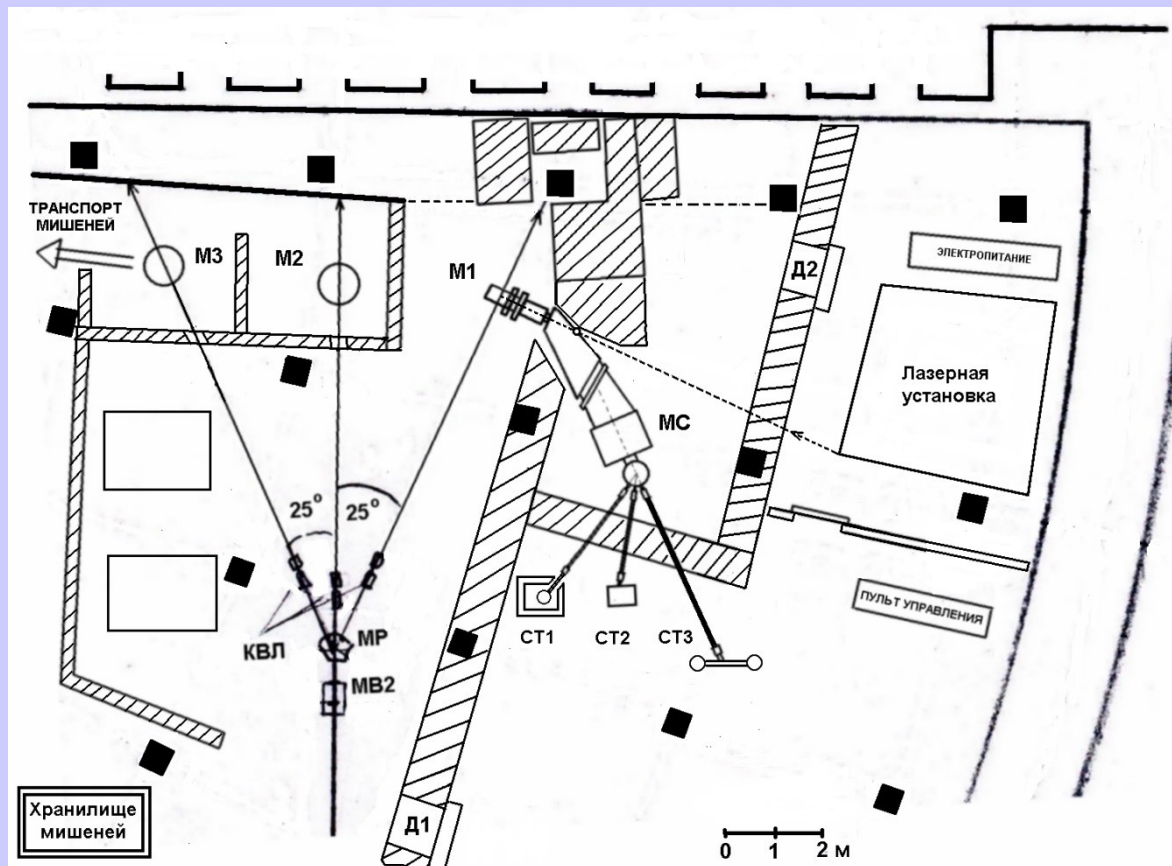
**В.Н. Пантелеев**

**Радионуклидный комплекс ИЗОТОП.  
Разработка новых методов получения  
радионуклидов для медицины**

## Циклотронные радионуклиды в ядерной медицине

В последние десятилетия со строительством сильноточных ускорителей значительно изменилась и расширилась номенклатура радионуклидов производимых для медицины. На пучках заряженных частиц могут быть получены нейтронно-дефицитные радионуклиды излучающие позитроны используемые в ПЭТ диагностике. На циклотронных пучках также получают широкий спектр радионуклидов используемых в терапии – это излучатели мягких гамма-лучей, Оже-электронов, альфа-частиц. Используемые в настоящее время на основе циклотронных радионуклидов фармпрепараты составляют значительную часть по сравнению с радионуклидами, получаемыми на реакторах на тепловых нейтронах, и доля их постоянно растет.

Концептуальный проект установки РИЦ-80 в правой части подвала экспериментального зала 2-го корпуса.  
Циклотрон 80 МэВ находится выше, на 1-ом этаже (семинар ОФВЭ 25.05.2010).



МС - масс-сепаратор типа ISOLDE

М1 - мишенно-ионное устройство масс-сепаратора

М2, М3 - мишенное устройство для радиохимического производства радиоизотопов

МР, МВ2, ВЛ - магнитные элементы для трассировки протонного пучка

СТ1, СТ2, СТ3 - рабочие станции масс-сепаратора

Д1, Д2 - защитные металлические двери

# Проект РИЦ-80 (2016)

Циклотрон Ц-80 в  
экспериментальном  
зале синхроциклотрона СЦ-1000



Энергия протонов 40–80 МэВ,  
планируемая интенсивность  
выведенного пучка 100  $\mu$ А.



Была получена интенсивность  
выведенного пучка 100  $\mu$ А.  
Планы : строительство радиоизотопного  
комплекса РИЦ-80 и  
офтальмологического пучка



Правая часть  
экспериментального зала  
синхроциклотрона ПИЯФ  
СЦ-1000, декабрь 2024

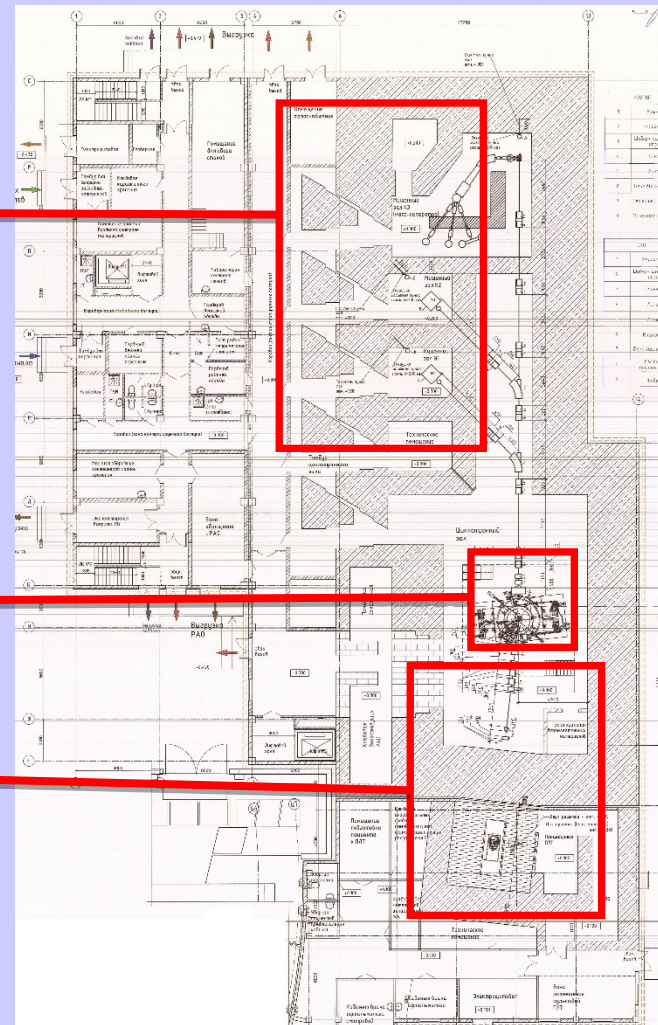
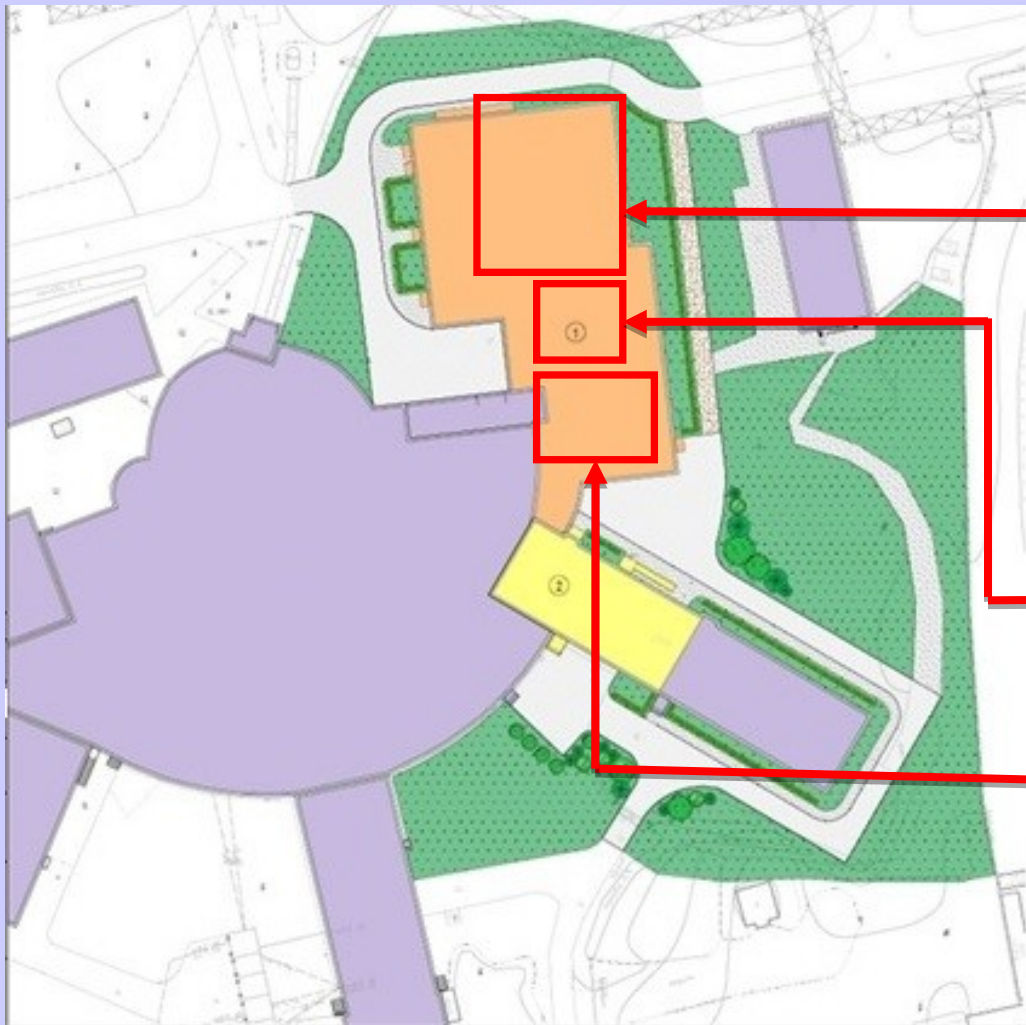


и подвал экспериментального  
зала в настоящее время

В ожидании новых проектов?



# План размещения зданий и оборудования радиокomплекса “Изотоп” и офтальмологического центра “Око” (старый-новый проект) 2021





- трех мишенных станций,
- систем транспортировки мишеней,
- проектирование горячих камер,
- подготовка РКД на масс-сепаратор и мишенно-ионное устройство.



**Старая – новая пристройка ОРЭ,  
вид с торца**

**Вид пристройки ОРЭ со  
стороны нового здания  
циклотрона Ц-80**





На переднем плане здания центра ОКО



# Здание циклотрона, выведенных пучков, мишенных станций, масс-сепаратора





# Лабораторный корпус





# Проект радиоизотопного комплекса ИЗОТОП

## Радионуклиды, планируемые для получения

- Планируется создание трех мишенных станций для производства радионуклидов для диагностики и терапии
- Для получения радионуклидов высокой изотопной чистоты на одной из мишенных станций будет установлен масс-сепаратор

Ge-68/Ga-68,  
Sr-82/Rb-82,  
Tc-99,  
Cu-64,  
Cu-67  
In-111,  
I-123  
I-124,  
Tb-149,  
Pb-212/Bi-212,  
Ra-223,  
Ra-224,  
Ac-225

Также разрабатываемые методы были использованы для получения радионуклидов Lu-177, Tc-99, I-131 на нейтронах

Первые радионуклиды, планируемые к получению с использованием масс-сепаратора – радионуклиды, распадающиеся с испусканием  $\alpha$ -частиц [Скачать Ra-223, Ra-224 и Ac-225](#).

Фармпрепараты, изготовленные на основе данных радионуклидов, используются для терапии злокачественных образований на самой ранней стадии их развития

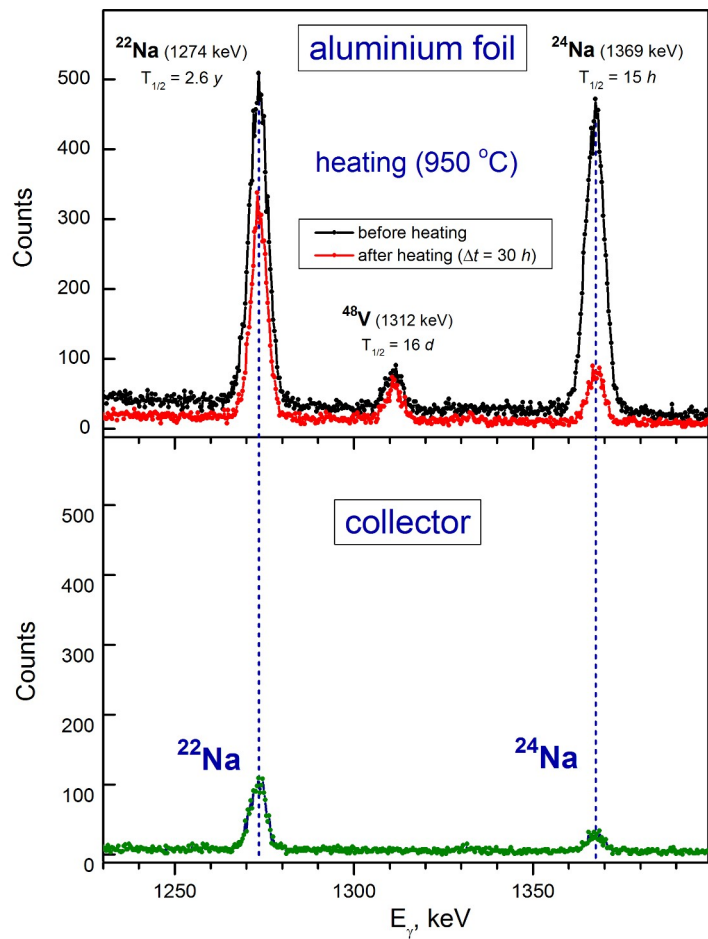
План график изготовления масс-сепараторной установки комплекса "Изотоп".

- Выпуск РКД - 2024 г.
- Изготовление масс-сепаратора и сопутствующего оборудования - 2024-2025 гг.
- Монтаж, испытания и запуск масс-сепараторной установки 2025-2026 гг.

Результаты работ на пучке СЦ-1000 по выделению натрия из мишени металлического алюминия и цинка из мишени металлического галлия

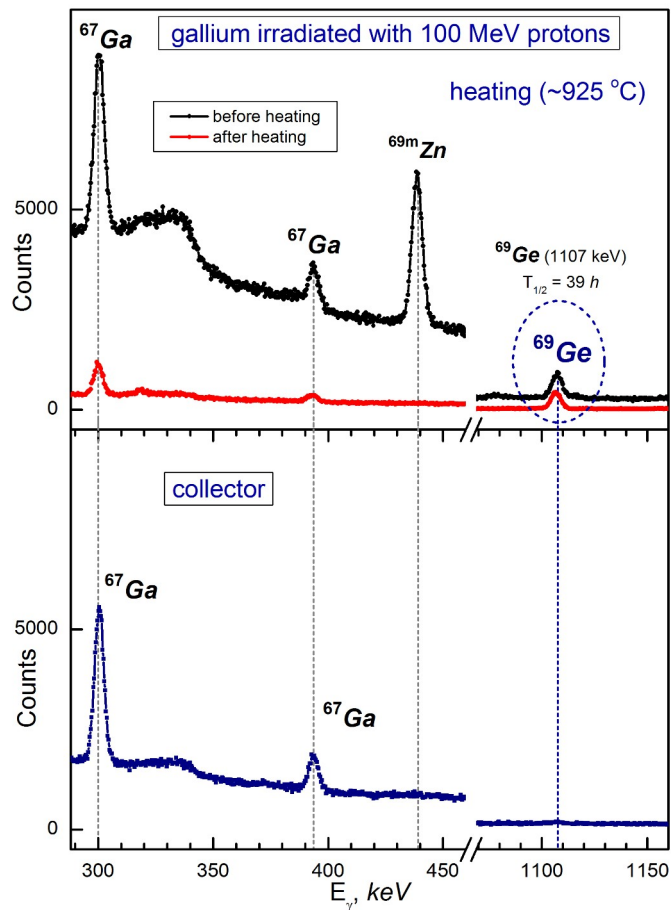


## Выделение термическим методом натрия-22 из мишени металлического алюминия (предварительный результат)



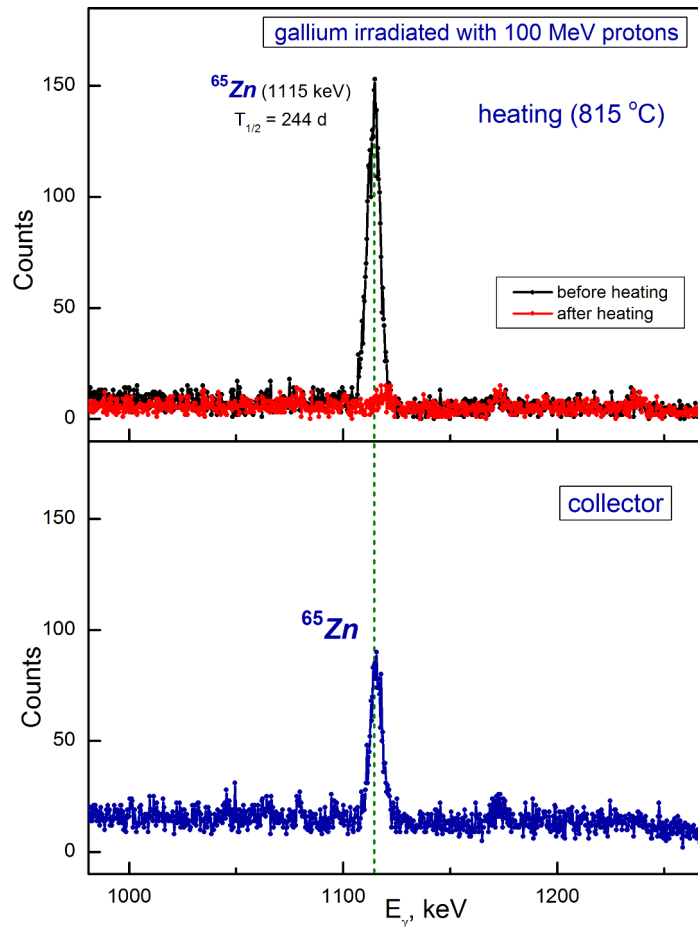
После совместного совещания, проведенного по инициативе ускорительного отдела ПИЯФ С АО РИВЕРТЦ, были проведены первые эксперименты по термическому выделению натрия-22 ( $T_{1/2}=2,6 \text{ г}$ ) из мишени металлического алюминия. При температуре около  $950^\circ\text{C}$  селективно вылетает  $\sim 40\%$  натрия-22.

## Выделение термическим методом изотопов германия из мишени металлического галлия (предварительный результат)



С повышением температуры до 950 °С процесс разделения изотопов германия и мишенного материала идет достаточно эффективно. При температуре выше 1000 °С прекращается селективный вылет галлия из мишенной капсулы. Остаток галлия - около 10% от первоначального значения до нагрева.

## Выделение термическим методом изотопов цинка из мишени металлического галлия (предварительный результат)



В процессе нагрева мишени из металлического галлия при температуре около 800 °C изотопы цинка с эффективностью около 100% испаряются из мишенного материала. Для их эффективного сбора необходим хорошо охлаждаемый коллектор



## Планы работ на будущее

Масс-сепараторное разделение образцов, содержащих  $\text{Sr-82}$ , полученных методом термического выделения

Масс-сепараторное разделение образцов, содержащих  $\text{Lu-177}$ , полученных методом термического выделения

Получение и термическое выделение  $\text{Cu-64}$  из мишени металлического никеля (мишень - обогащенный  $\text{Ni-64}$ )

Получение и термическое выделение  $\text{Tb-149}$  из мишени  $\text{GdCl}_2$  (хлористого гадолиния) (мишень - обогащенный  $\text{Gd-152}$ )

Получение и термическое выделение изотопов  $\text{I-123,124}$  из мишени металлического теллура (мишени - обогащенные  $\text{Te-123,124}$ )

### Ионизация в лазерном ионном источнике

Исследование эффективности источника поверхностной ионизации из монокристалла вольфрама с повышенной работой выхода внутренней поверхности в зависимости от его длины

Спасибо за внимание,

с наступающим Новым Годом!

## Возможность получения Lu-177 на реакторе ПИК (альтернативный способ)

Поток нейтронов  $10^{15}$  н/см<sup>2</sup>сек и выше при сечении поглощения нейтрона  $\sigma = 1000$  барн (и выше) дает уникальную возможность получать целевые радиоизотопы высокой чистоты в (n $\gamma$ ) реакции при облучении соседнего изотопа с N-1.

### Пример получения Lu-177 в реакции $^{176}\text{Lu} (n\gamma) ^{177}\text{Lu}$

Сечение поглощения нейтрона Lu-176 равно 2000 барн.

$$10^{15} \text{ н/см}^2\text{сек} \times 2000 \times 10^{-24} \text{ см}^2 \times (6 \times 24 \times 3600) \text{ сек} = \mathbf{1.037}$$

Т.е. за 6 сут. весь Lu-176 будет преобразован в Lu-177.

Для сравнения - используемый метод:



Отношение получаемых активностей в одних и тех же условиях равно **740**.