



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



**ПЕТЕРБУРГСКИЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ
ФИЗИКИ**
Россия, 188300, Ленинградская область, г. Гатчина, Стрельна, ул. Академика Глушко

В.Н. Пантелейев

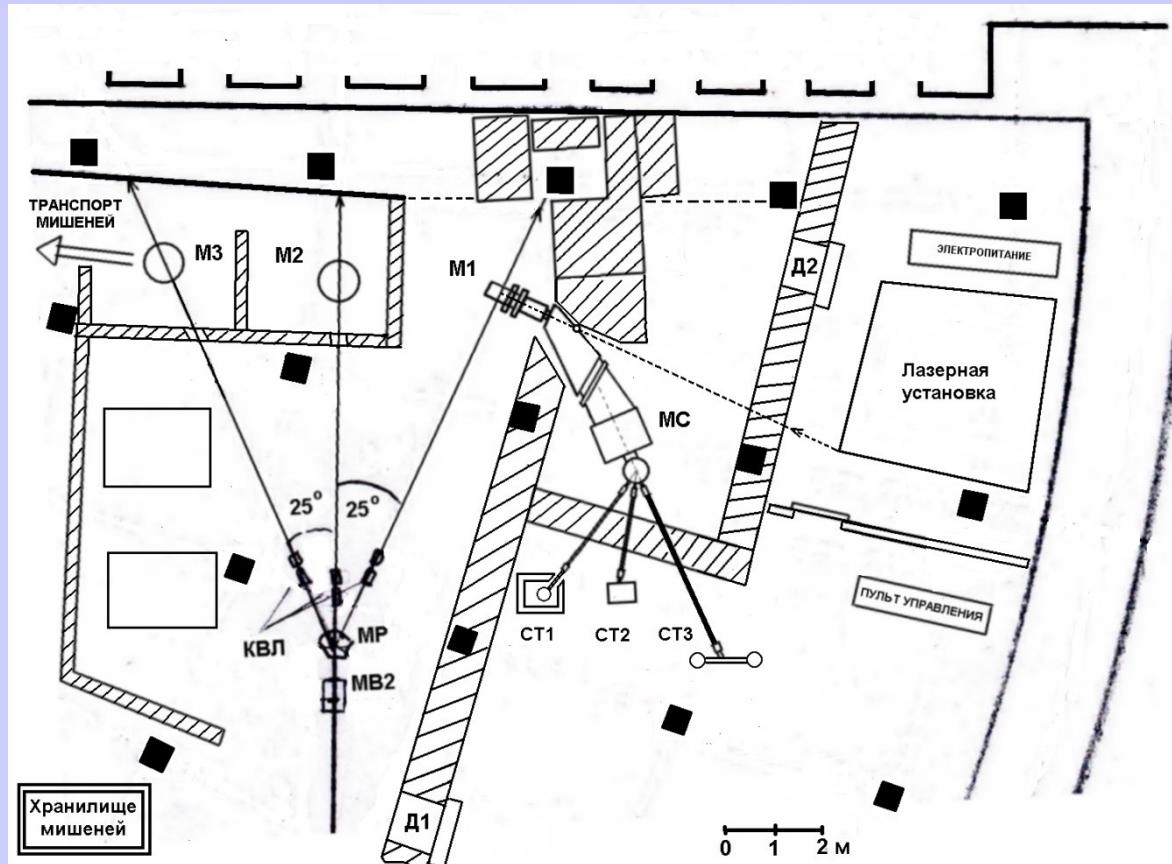
**Радионуклидный комплекс ИЗОТОП.
Разработка новых методов получения
радионуклидов для медицины**

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).



MC - 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 μ А.

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





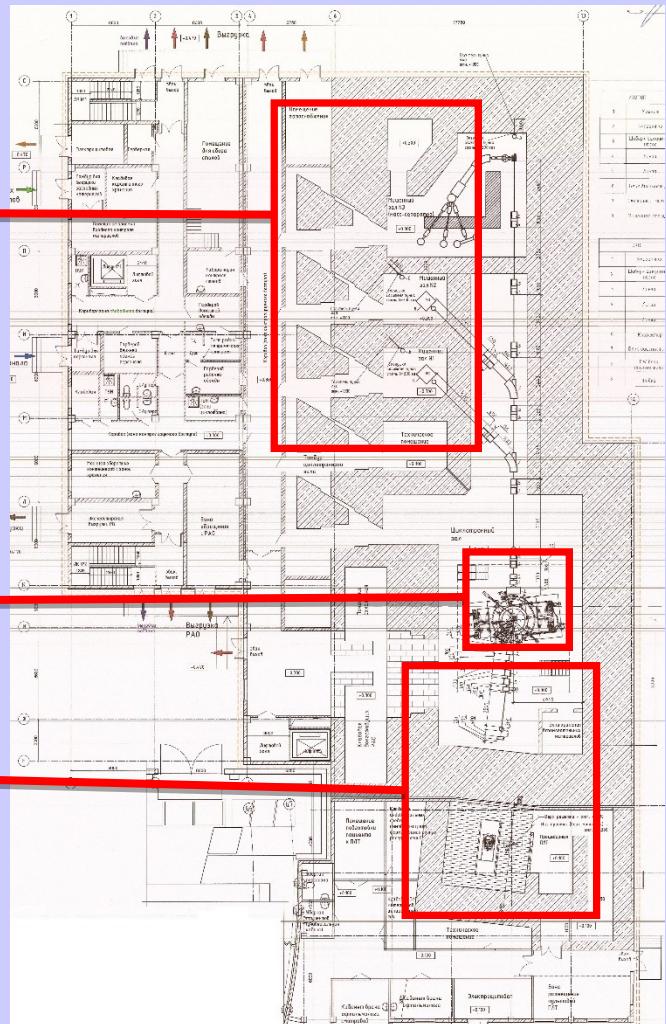
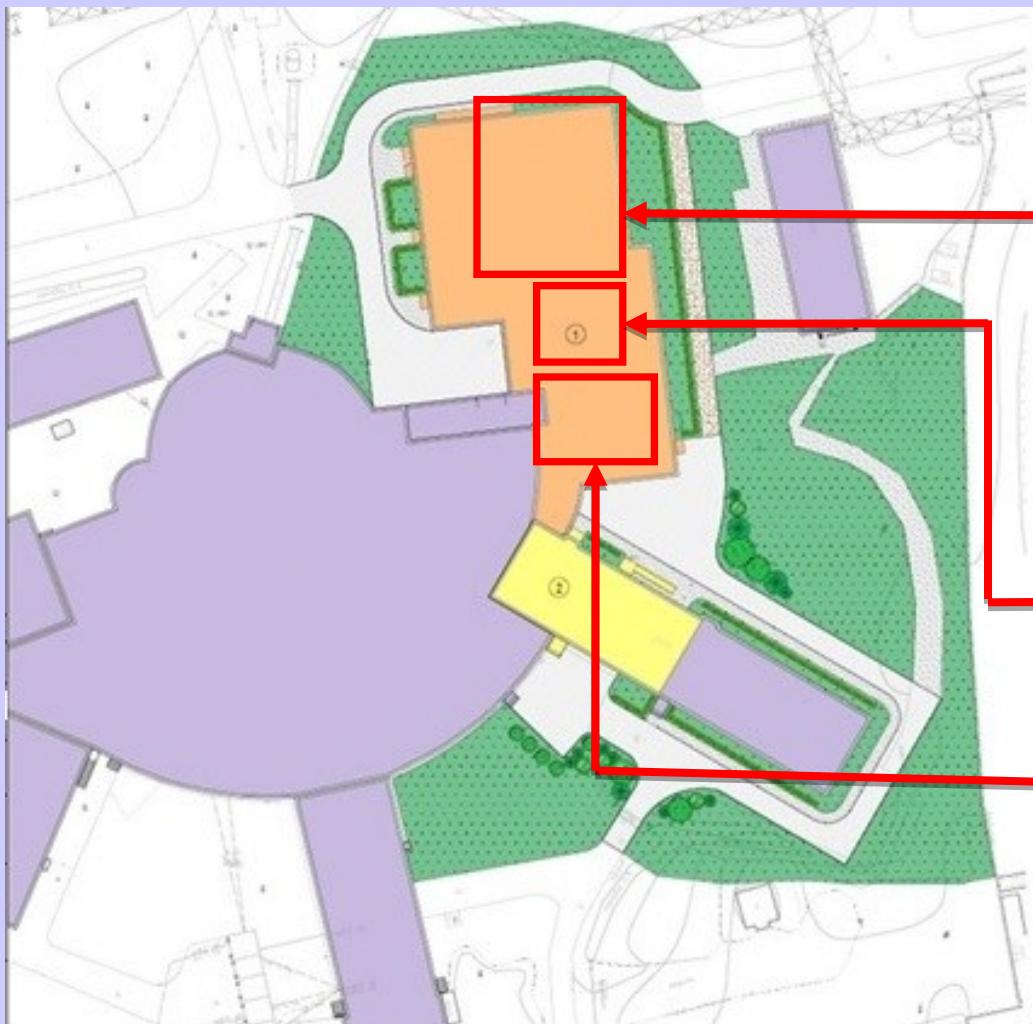
Правая часть
экспериментального зала
синхроциклотрона ПИЯФ
СЦ-1000, декабрь 2024

и подвал экспериментального
зала в настоящее время

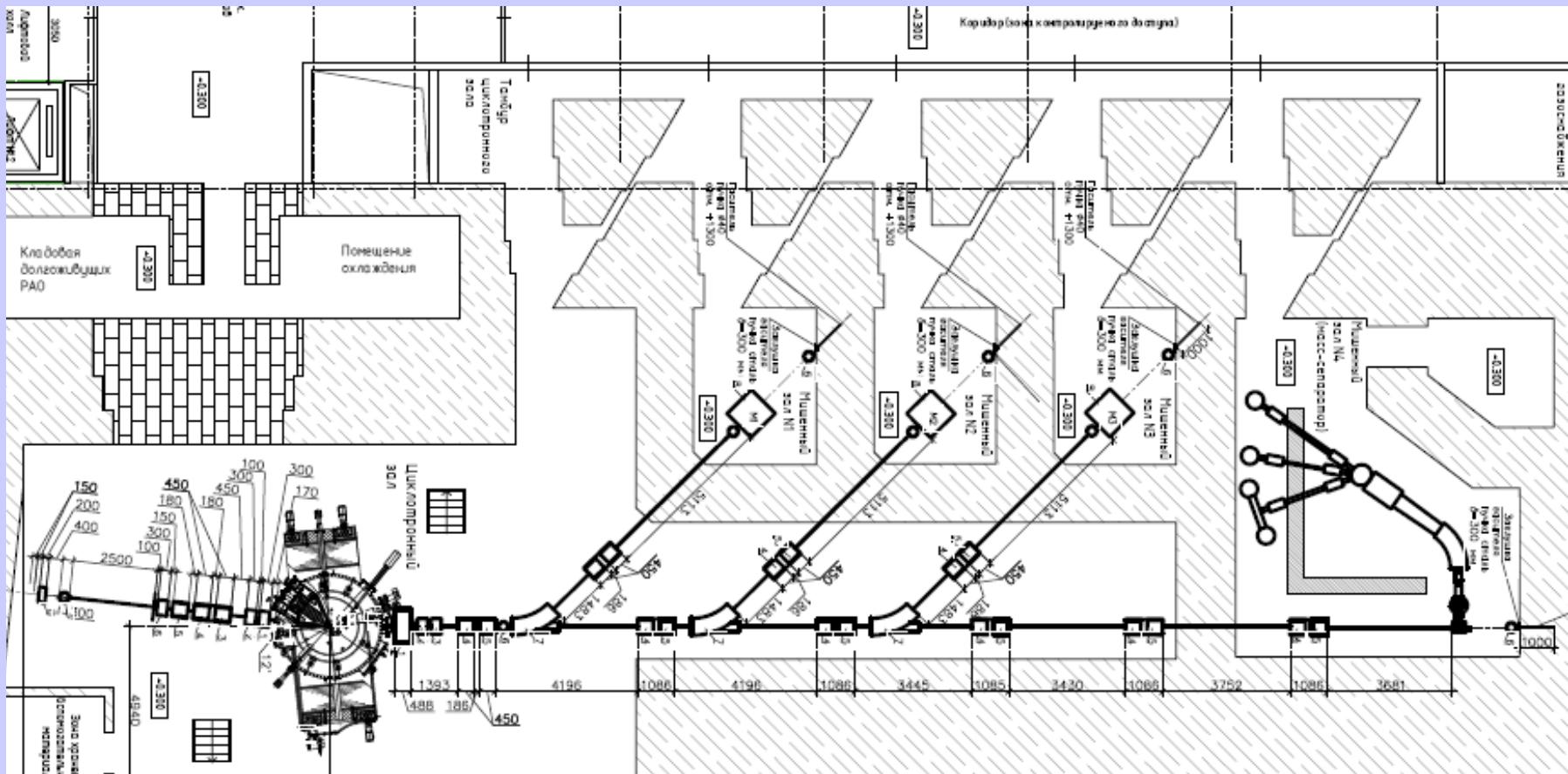
В ожидании новых проектов?



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



Радиоизотопный комплекс и офтальмологический центр на пучке циклотрона Ц-80. Первые, планируемые получению, - генераторные радионуклиды Sr-82, Ge-68



В 2023 г. началось проектирование и изготовление:

- 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

- 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

Радионуклиды, планируемые для получения

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 а-частиц [Скачать Ra-223, Ra-224 и Ac-225.](#)

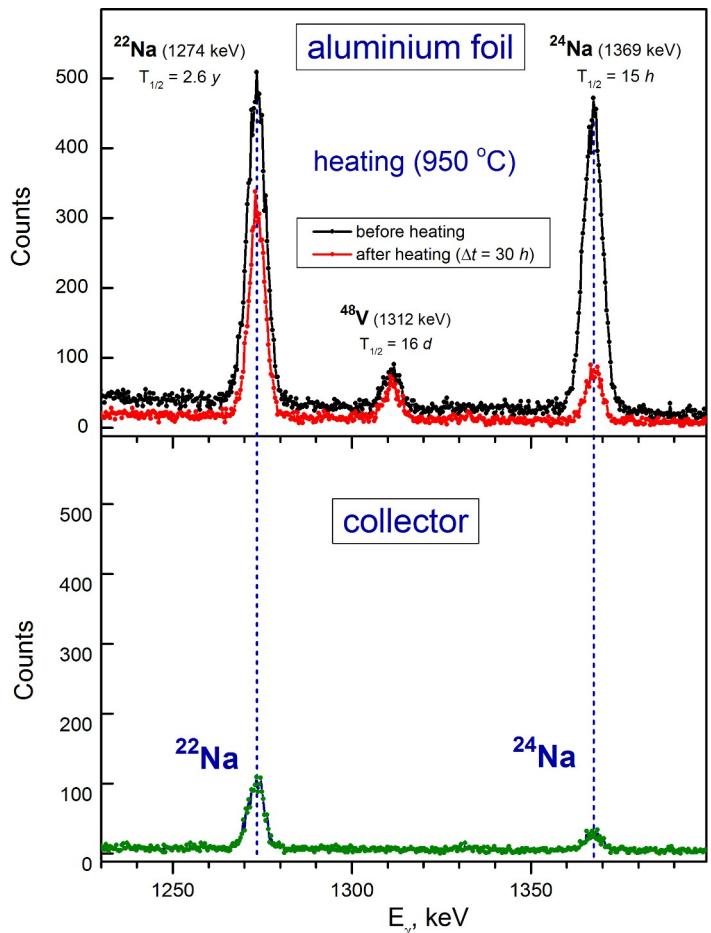
Фармпрепараты, изготовленные на основе данных радионуклидов, используются для терапии злокачественных образований на самой ранней стадии их развития

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.

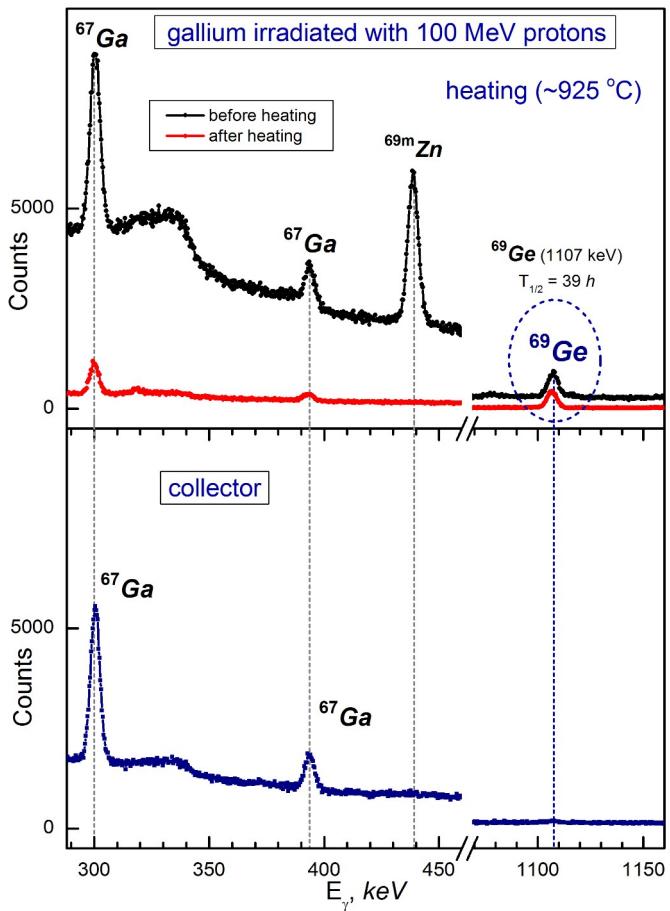
Результаты работ на пучке СЦ-1000 по выделению
натрия из мишени металлического алюминия
и цинка из мишени металлического галлия

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



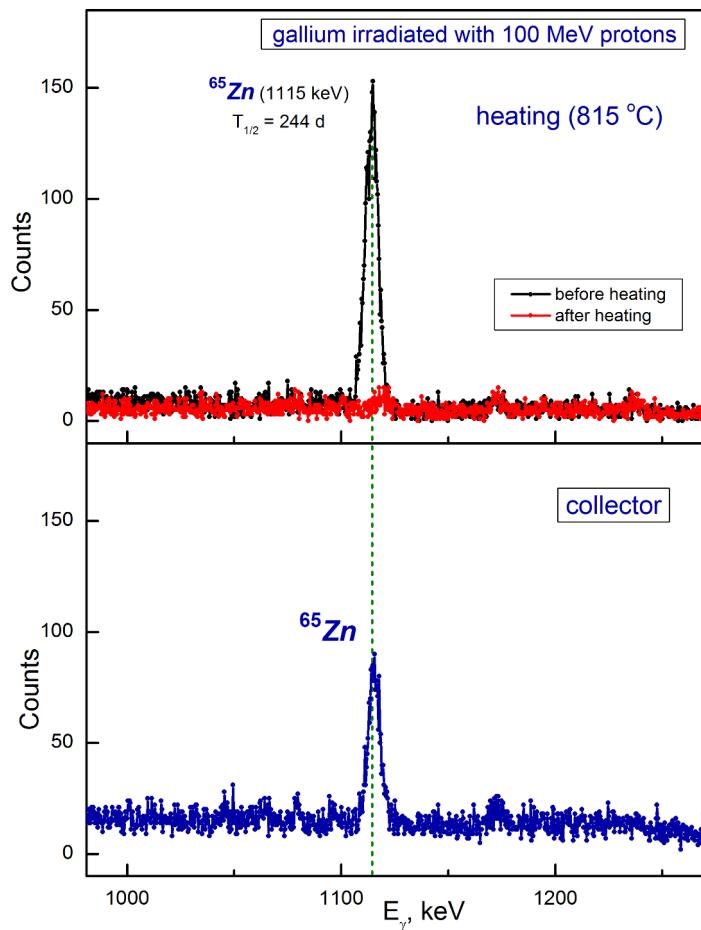
После совместного совещания, проведенного по инициативе ускорительного отдела ПИЯФ С АО РИВЕРТЦ, были проведены первые эксперименты по термическому выделению натрия-22 ($T_{1/2}=2,6$ г) из мишени металлического алюминия. При температуре около 950 $^{\circ}\text{C}$ селективно вылетает $\sim 40\%$ натрия-22.

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



С повышением температуры до 950 °C процесс разделения изотопов германия и мишленного материала идет достаточно эффективно. При температуре выше 1000 °C прекращается селективный вылет галлия из мишленной 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 Sr-82, полученных методом термического выделения

Масс-сепараторное разделение образцов, содержащих Lu-177, полученных методом термического выделения

Получение и термическое выделение Cu-64 из мишени металлического никеля (мишень - обогащенный Ni-64)

Получение и термическое выделение Tb-149 из мишени GdCl₂ (хлористого гадолиния) (мишень - обогащенный Gd-152)

Получение и термическое выделение изотопов I-123,124 из мишени металлического теллура (мишени - обогащенные Te-123,124)

Ионизация в лазерном ионном источнике

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

*Спасибо за внимание,
с наступающим Новым Годом!*

Возможность получения Lu-177 на реакторе ТИК (альтернативный способ)

Поток нейтронов 10^{15} н/см²сек 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}Lu ($n\gamma$) ^{177}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:

^{176}Yb ($n\gamma$) $^{177}\text{Yb} \rightarrow ^{177}\text{Lu}$, сечение реакции 2.7 барна.

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