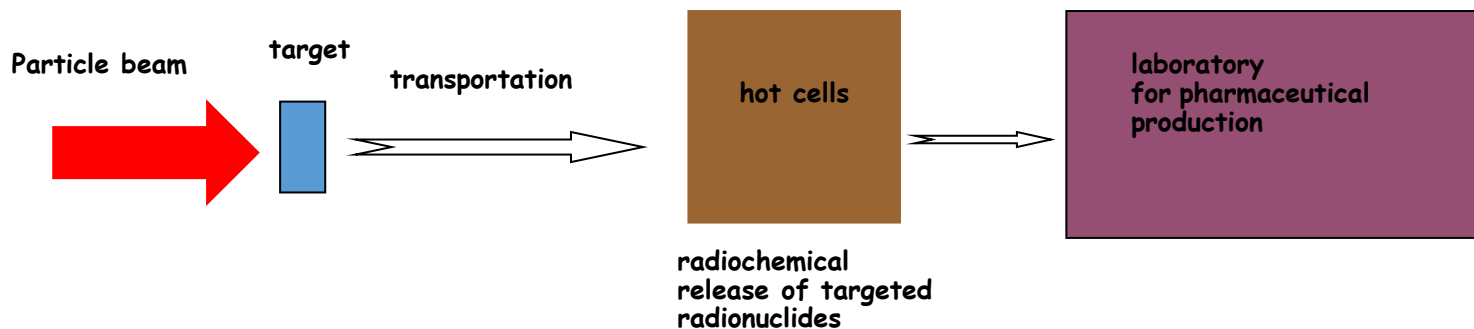




Проект радионуклидного комплекса "ИЗОТОП" в НИЦ "КИ"-ПНИЯФ Разработка новых методов получения медицинских радионуклидов

Технологии радионуклидной медицины, используемой для диагностики и терапии, базируются на использовании фармпрепаратов, включающих радиоизотопы со специально выбранными свойствами.



Возможность получения целевого радионуклида определяется типом бомбардирующих частиц, ядерной реакции а также тем, какое мишенное вещество используется.



Используемые установки:

реакторы на тепловых нейтронах -

в реакциях деления и (n, γ) в основном получают изотопы β^- -распадчики, используемые в терапии. В делении ^{235}U тепловыми нейтронами получают наиболее используемый в мире диагностический генераторный радионуклид $^{99}\text{Mo}/^{99}\text{Tc}$.

протонные ускорители (циклотроны) -

в реакциях поглощения протона (p, xn) и глубокого отщепления $(p; xp, yn)$ получают нейтронно-дефицитные радионуклиды, используемые как в диагностике, так и в терапии. Только с использованием циклотронов могут быть получены радионуклиды используемые в ПЭТ диагностике. С использованием мишени ^{238}U в реакции деления протонами также можно получать радиоизотопы с избытком нейтронов, как и на реакторах на тепловых нейтронах.



Статус новых базовых установок ПИЯФ



Реактор ТИК

Максимальный поток
тепловых нейтронов
 5×10^{15} н/см²сек

Планы:

10 МВт 2022 г

100 МВт 2024 г

Циклотрон Ц-80

Энергия протонов 40–80 МэВ,
Интенсивность выведенного
пучка 100 μ А

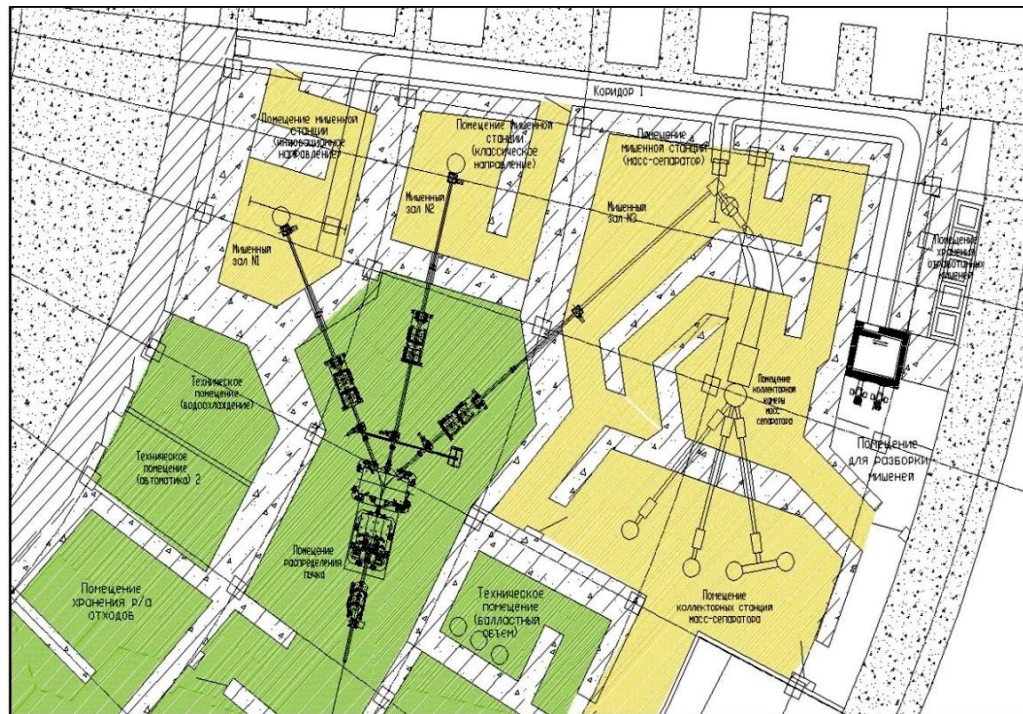
Получена интенсивность
100 μ А

Планы:

Создание радиоизотопного
комплекса и
офтальмологического пучка
2025 г



Схема радиоизотопного комплекса РИЦ-80 в цокольном этаже экспериментального зала циклотрона Ц-80



Радионуклиды, планируемые к получению на РИЦ-80

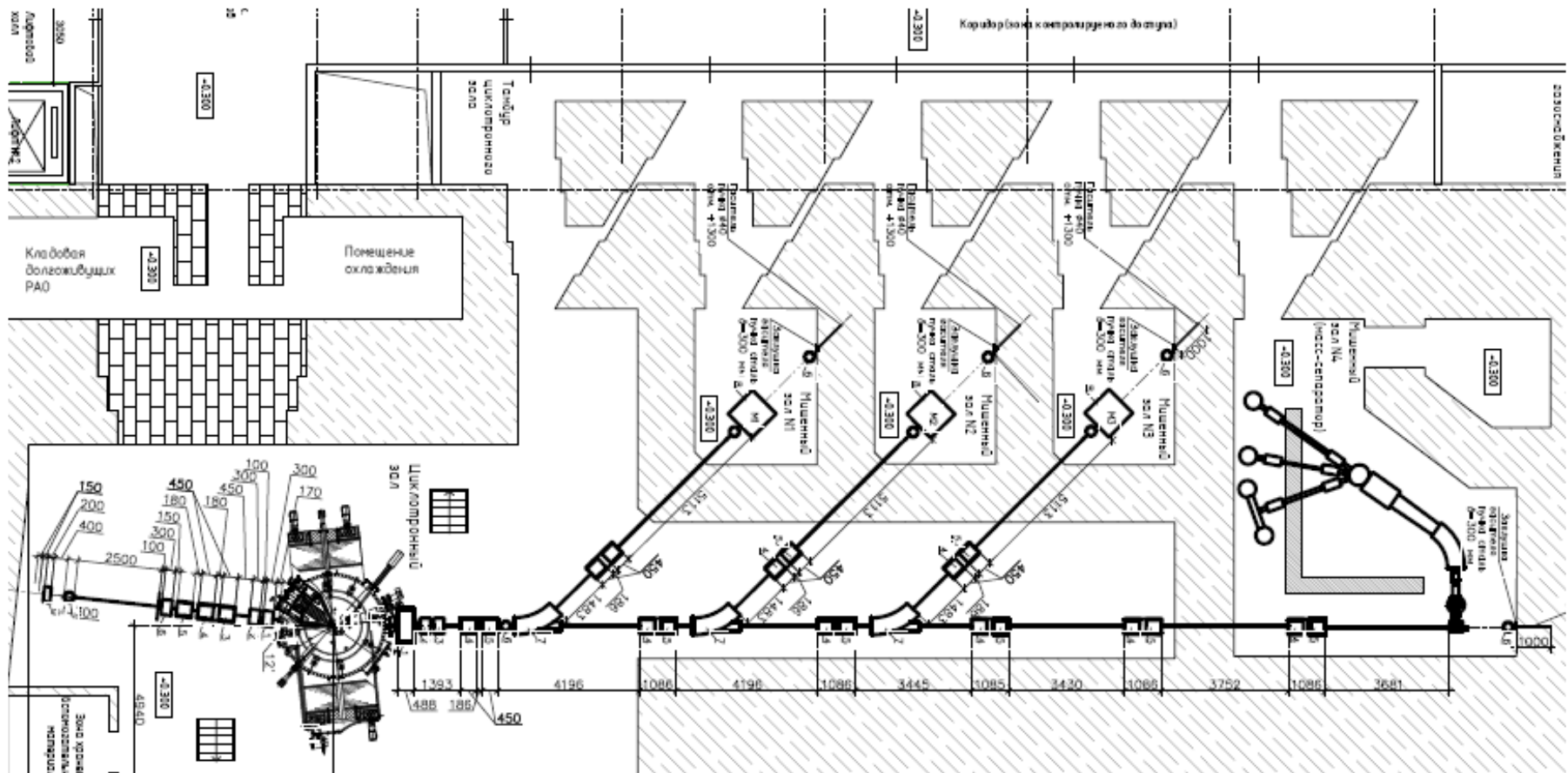
Радионуклид	T _{1/2} Период полураспада	Мишень	Активность (Ки)
Ge-68	270.8 d	Ga	2
Sr-82	25.55 d	Rb	14
Tc-99	6 h	Mo	8
In-111	2.8 d	Cd	14
I-123	13.27 h	Te	25
I-124	4.17 d	Te	60
Tb-149	4.1 h	Gd	3
Ra-223	11.4 d	ThC	3
Ra-224	3.66 d	ThC	0.45
Ac-225	10 d	ThC	0.12

- 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**

Также разрабатываются мишени для производства **Cu-64,67**, **Re -186**, **Lu-177**, **Re-188**.

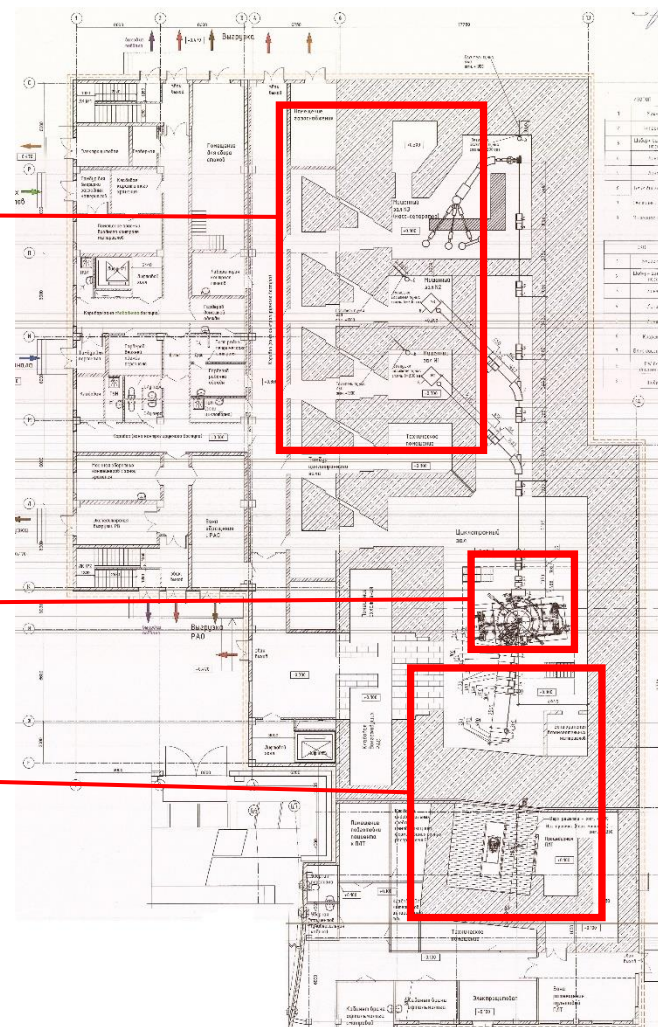
Красным отмечены радионуклиды, которые планируется получать изотопически чистыми с использованием масс-сепаратора на циклотроне Ц-80
Зеленым отмечены радионуклиды, которые планируется получать с использованием нового высокотемпературного Метода при облучении на тепловых нейтронах.

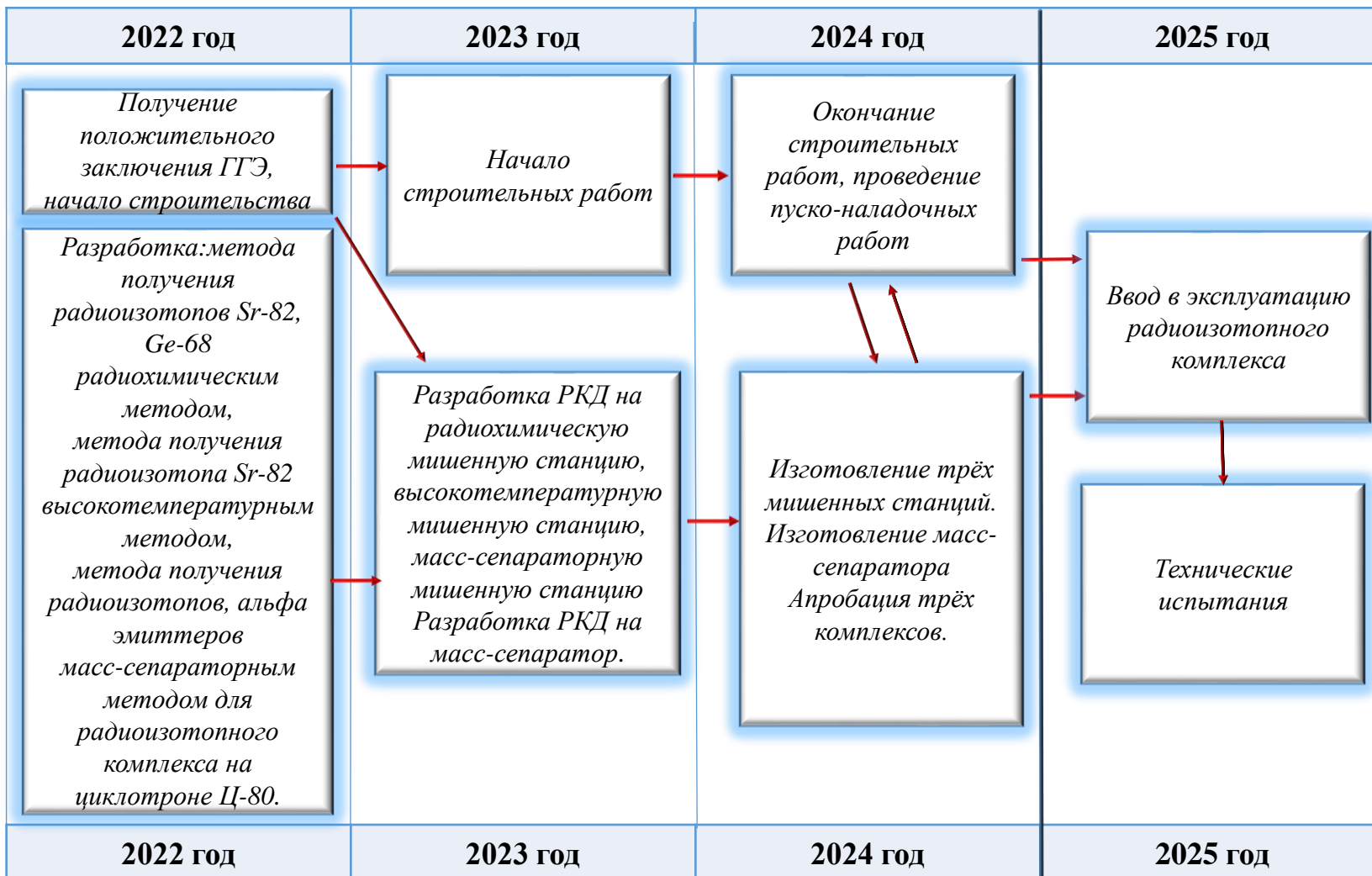
Радиоизотопный комплекс ИЗОТОП и офтальмологический центр на пучке циклотрона Ц-80 (новый проект)



Разработаны и обсуждаются с потенциальными подрядчиками технические задания на:

- четыре, включая масс-сепараторную, мишени станции,
- масс-сепаратор,
- системы установки и транспортировки мишеней,
- горячие камеры,
- боксы для хранения облученных мишени устройств.

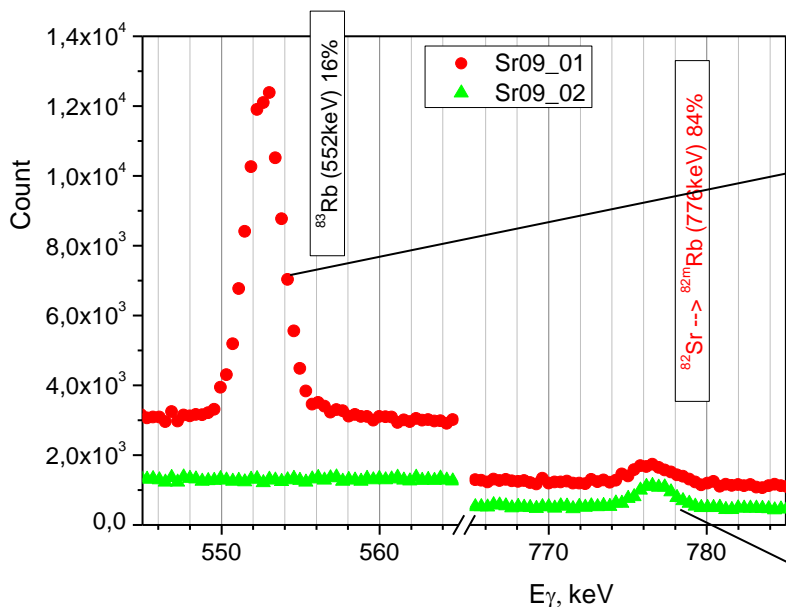






Разработка новых методов получения медицинских радионуклидов

Высокотемпературный метод разделения ^{82}Sr мишенного материала в виде хлористого или металлического рубидия



Часть гамма-спектра облученного хлористого рубидия до и после нагревания в вакууме при температуре выше 900°C в течение часа

Эффективность отделения стронция от мишенного вещества RbCl выше 99.9%



Капсула с мишенным веществом до нагрева



Капсула с мишенным веществом после нагрева



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

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

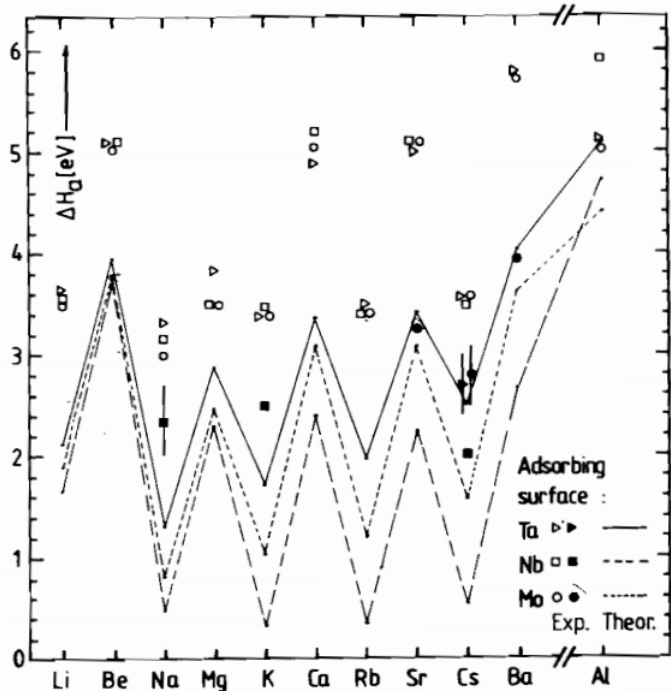


Fig. 5. Semi-empirical [2] and experimental ΔH_a -values of the alkali metals, the alkaline-earths and aluminum. The open symbols are from this work. Closed symbols are from the compilation in ref. [12]; bars show the scatter of different measurements.

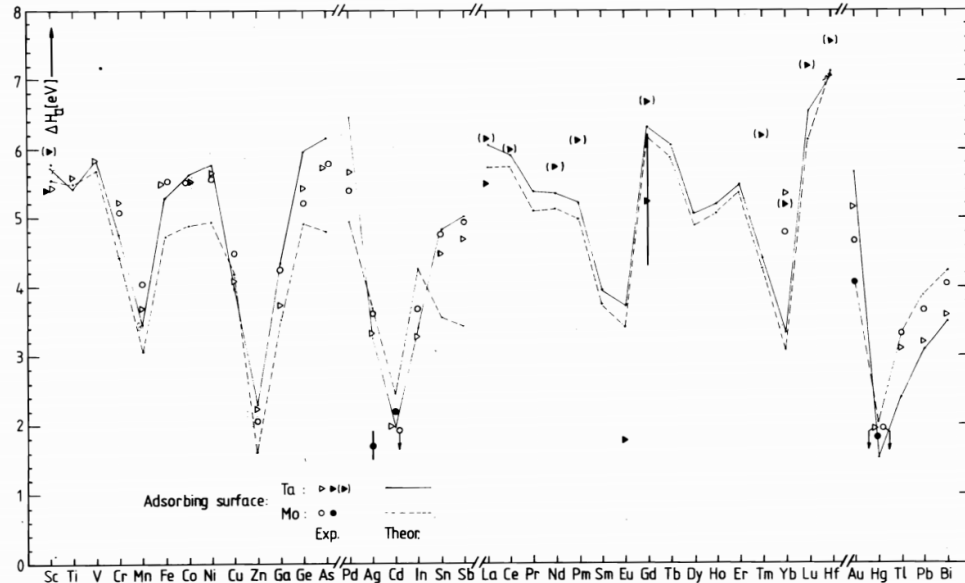
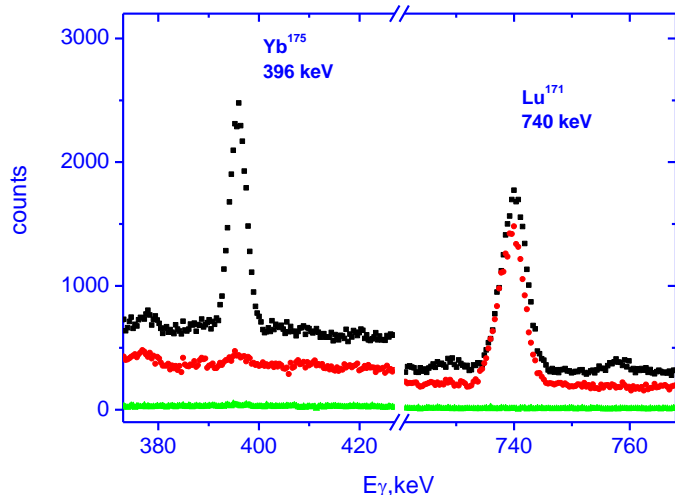


Fig. 6. Semi-empirical [2,3] and experimental ΔH_a -values of the transition elements scandium to nickel, the lanthanides, lanthanum and hafnium. The open symbols are from this work. The data for a niobium surface are not presented, being similar to the data for tantalum and in no case more advantageous. For completeness, the data for copper to arsenic, palladium to antimony and gold to bismuth from ref. [1] are shown, downward pointing arrows indicating upper limits. Note the revised values for germanium, arsenic, palladium and gold. Closed symbols are from the compilation in ref. [12]; bars show the scatter of different measurements. Closed triangles in parentheses are deduced from the t_a -values of ref. [4], using the t_a -versus- ΔH_a dependence in fig. 4.

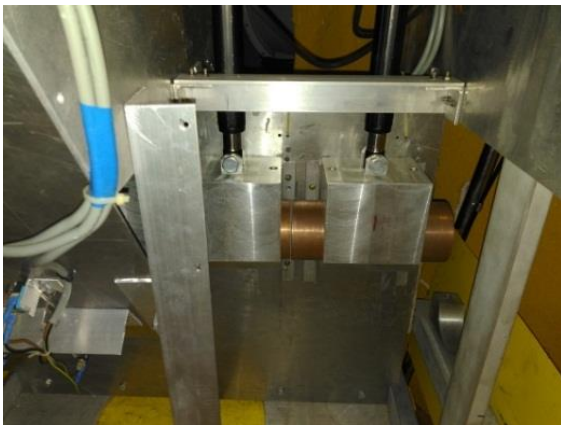
Isotope	Rb	Sr	Zn	Cu	Yb	Lu	Ga	Ge
Boiling point °C	688	1382	907	2562	1194	3393	2204	2833

Высокотемпературный метод выделения изотопов лютеция из мишенного материала в виде металлического иттербия (^{177}Lu - новый радионуклид для эффективного лечения рака простаты)

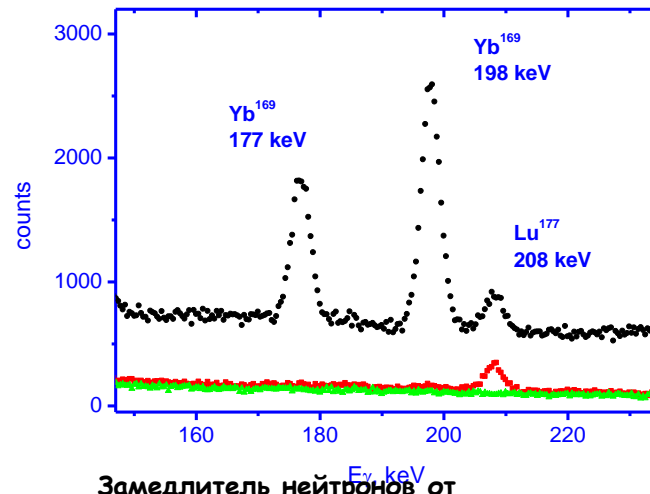
Часть гамма-спектра, облученного протонами металлического иттербия, измеренного до и после нагревания в вакууме



Деградер (замедлитель протонов, $E_p = 100$ МэВ)



Часть гамма-спектра, облученного нейтронами металлического иттербия, измеренного до и после нагревания в вакууме

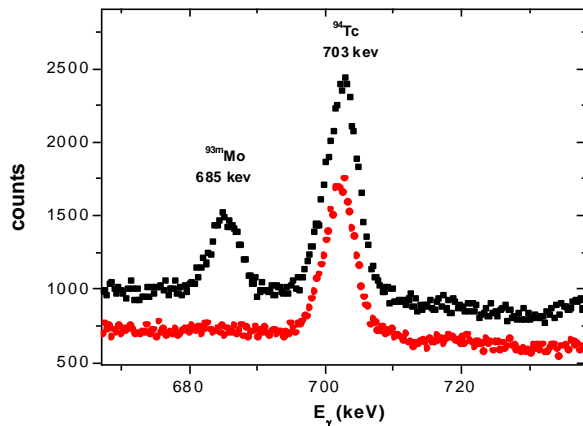


Замедлитель нейтронов от нейтронообразующей мишени

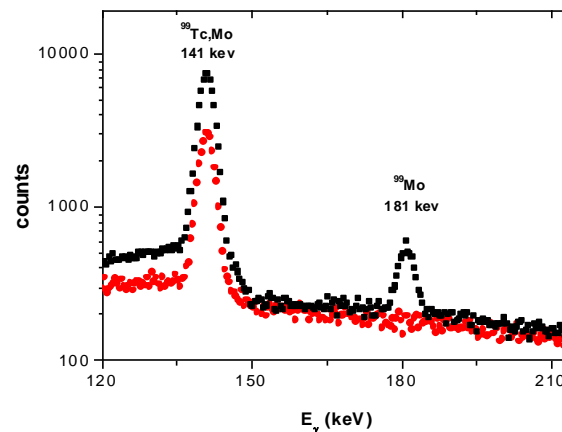


Высокотемпературный метод выделения изотопов технеция из мишенного материала в виде оксида молибдена. (*Tc-99 радионуклид широко используемый в диагностике*)

Часть гамма-спектра, облученного протонами MoO₃, измеренного до и после нагревания в вакууме

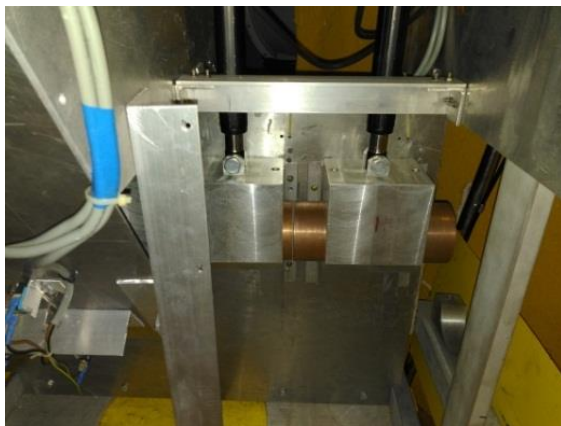


Часть гамма-спектра, облученного нейтронами MoO₃, измеренного до и после нагревания в вакууме



Замедлитель нейтронов от нейтронообразующей мишени

Деградер (замедлитель протонов, $E_p = 100$ МэВ)





Заключение

Разрабатываемые высокотемпературный и масс-сепараторный методы могут быть использованы для выделения медицинских радионуклидов, полученных как на циклотронах, так и на реакторах.

сохранять мишенное вещество в его первоначальном виде, что очень важно для мишеней из обогащенных изотопов по причине их высокой стоимости;

снизить до минимальных количеств (неск. см³) ЖРО (жидкие радиоактивные отходы);

масс-сепараторный метод обеспечивает получение одновременно нескольких изотопически разделенных радионуклидов, чего не могут дать радиохимические методы;

в случае масс-сепараторного метода может использоваться одна и та же мишень в течение достаточно долгого (неск. месяцев) времени.

На основе разработанных методов будут созданы мишенные устройства для получения на радиоизотопном комплексе широкого спектра медицинских радионуклидов для диагностики и терапии различных заболеваний.