

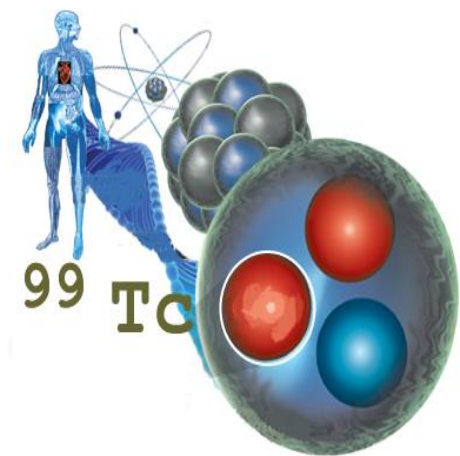


**РАЗВИТИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ ^{99m}Tc
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
УСКОРИТЕЛЕЙ ЧАСТИЦ**

**Докладчик – Альберт АВЕТИСЯН,
Руководитель отдела изотопов,
ННЛА (ЕрФИ)**

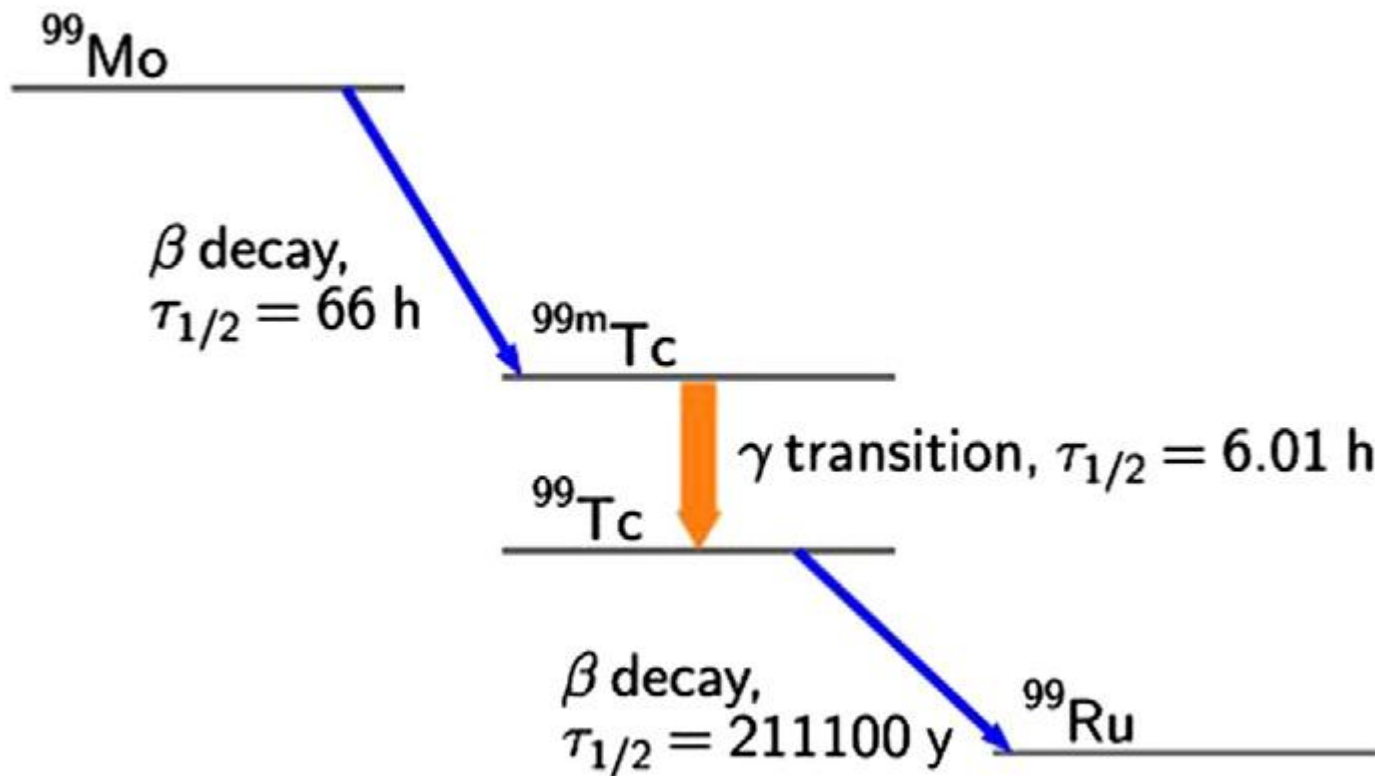
СОДЕРЖАНИЕ

- **ОБЗОР** методов получения ^{99m}Tc
- Текущее состояние производства и перспективы
- Метод фотоядерных реакций – опыт ЕрФИ.
- Методика **ПРЯМОГО** получения ^{99m}Tc на циклотронах
- Прогноз на производство.
- Заключение

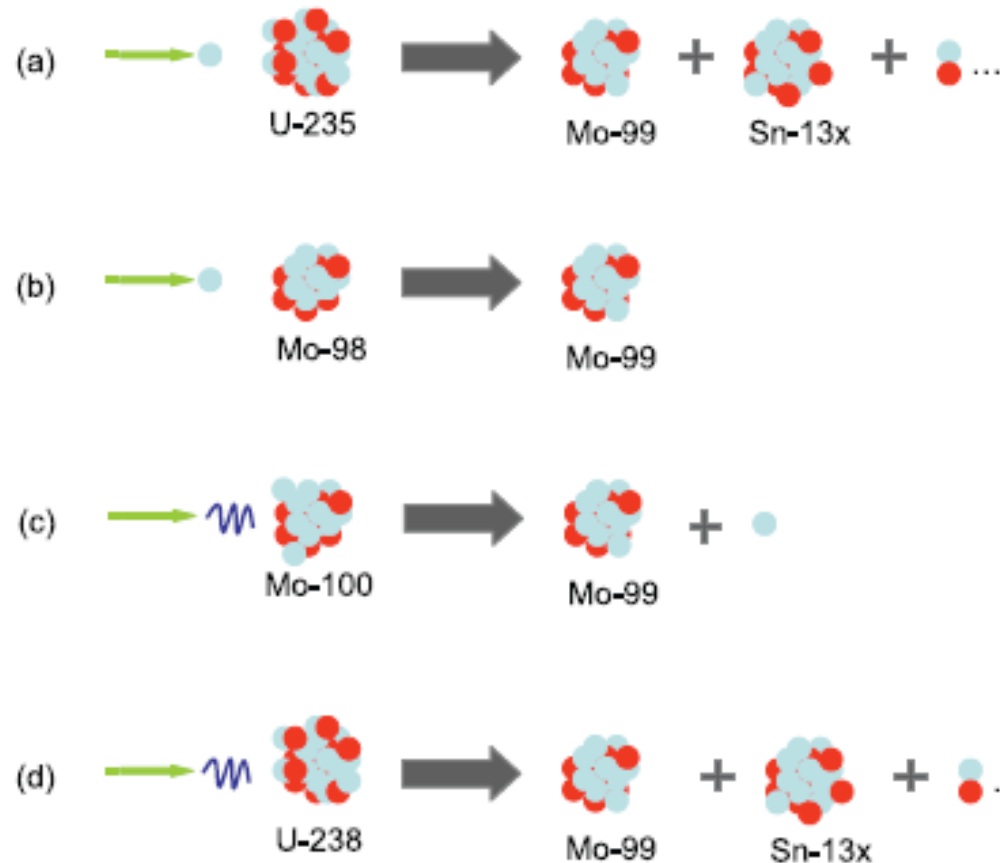


Заседание Рабочей группы «Сотрудничество в области производства, использования и продвижения изотопной продукции» Нор Амберд, 13-15 октября 2015

^{99m}Tc является дочерним продуктом распада ^{99}Mo по приведенной схеме



Основные методы получения $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$



Первый метод (а) –
самый эффективный и
распространенный –
облучение
ВысокОбогащенного Урана
(ВОУ) ^{235}U нейтронами в
ядерном реакторе

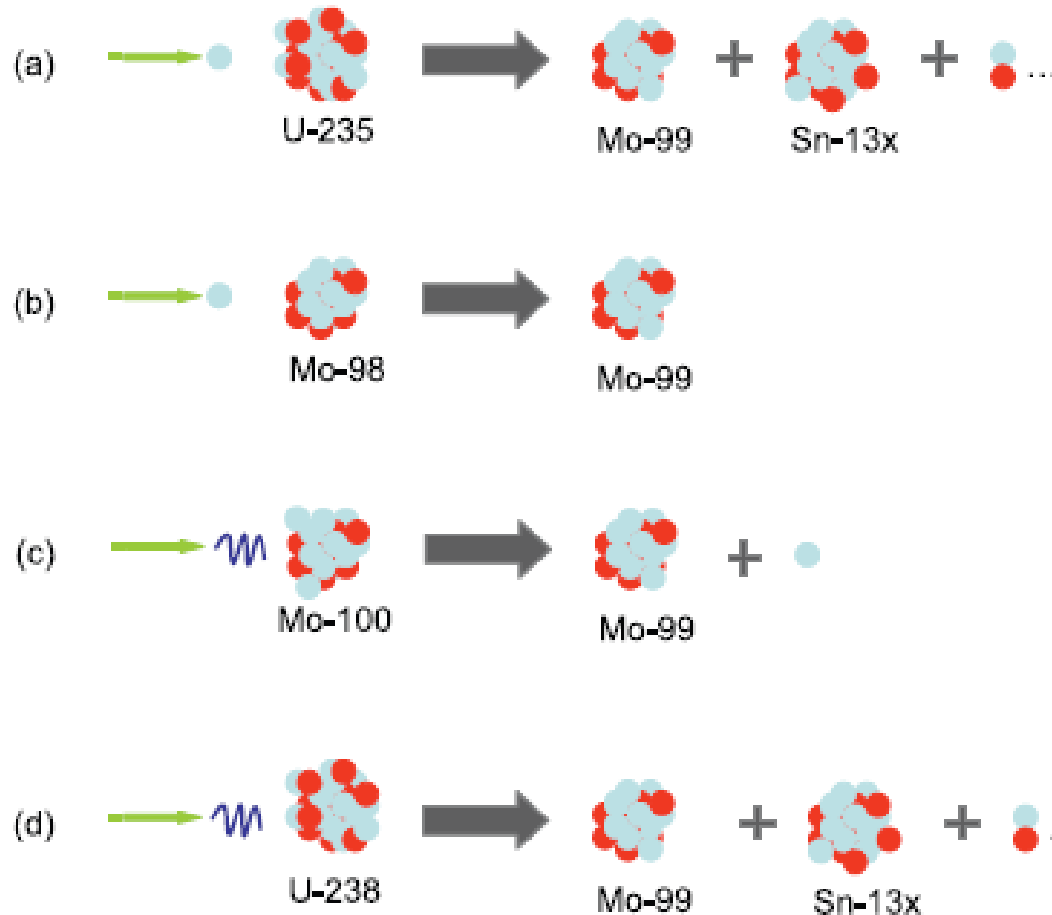
В результате происходит расщепление ядра на осколки с разными массами. Примерно 6 % этих осколков – ⁹⁹Молибден.

Извлечение (экстракция) этого молибдена из облученного материала требует высокотехнологичного оборудования и так называемой “мокрой радиохимии”, а отходами такого производства являются большие активности долгоживущих изотопов.

Тем не менее это – самый распространенный метод на сегодня. Основные производители – Канада, Голландия, Франция, ЮАР, Россия.

На основе выделенного ^{99}Mo Молибдена изготавливаются так называемые Mo/Tc генераторы, в которых с распадом молибдена образуется $^{99\text{m}}\text{Tc}$ и ежедневно “выдаивается” для обеспечения сканирования пациентов.

Основные методы получения $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$



Второй метод – (b) – облучение обогащенного изотопа ^{98}Mo потоком нейтронов в реакторе. Происходит захват ядром одного нейтрона, ^{98}Mo превращается в ^{99}Mo .

Преимущества данного метода – отсутствие побочных радиоизотопов, недостаток – низкая эффективность, маленькая производительность.

Этот метод применяется на территории бывшего СССР – Санкт-Петербург+Москва, Украина, Казахстан.

Следующие 2 метода основаны на фотоядерных реакциях – то есть происходят при облучении мишени интенсивными пучками гамма-квантов. Он не нашли применения в основном из-за отсутствия небольших ускорителей электронов с большими интенсивностями – с токами 1 миллиампер и более.

Ускорительный метод получения ^{99m}Tc

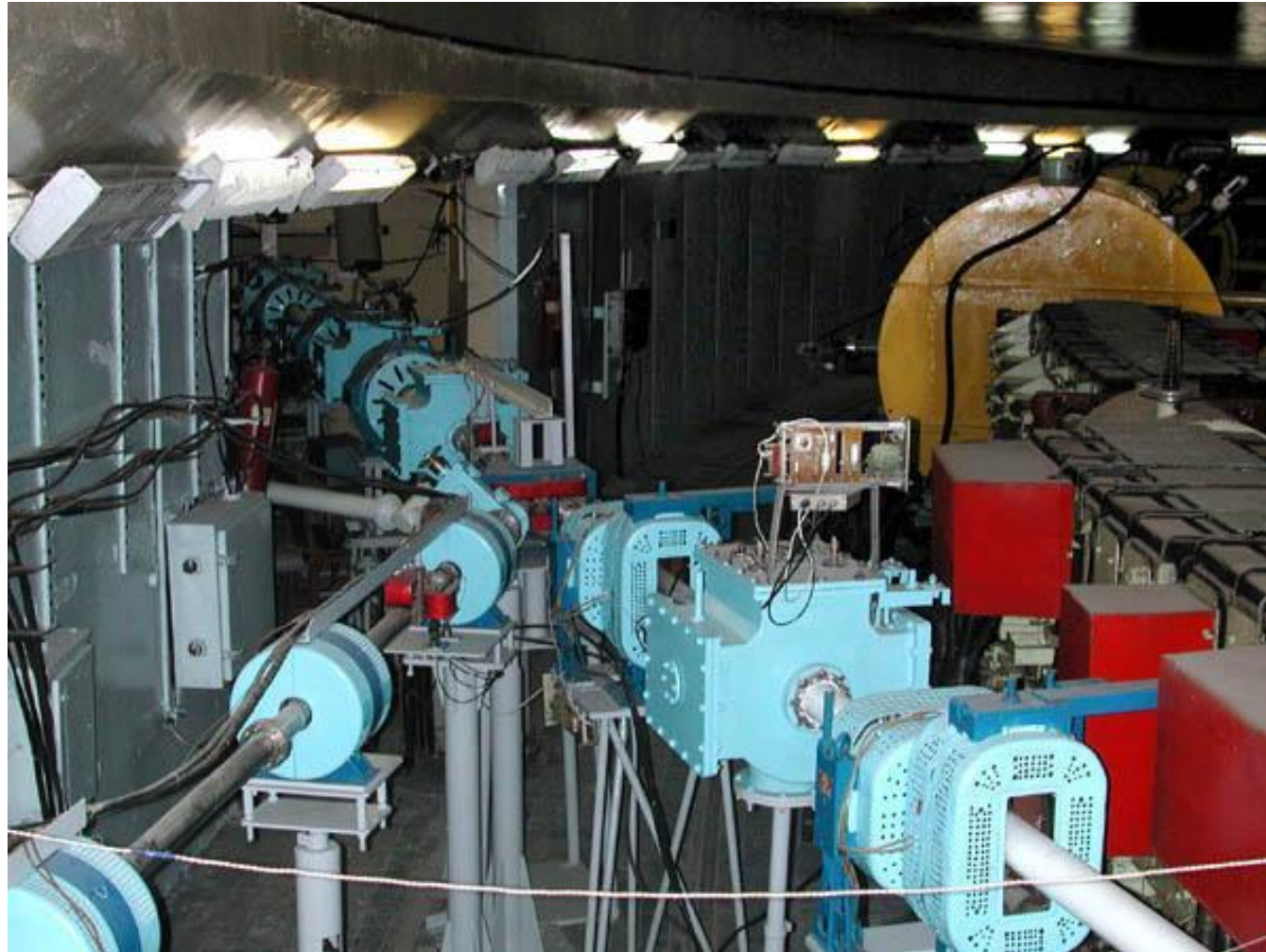
Метастабильный ^{99m}Tc может быть получен в фотоядерной реакции облучением of ^{100}Mo интенсивным фотонным пучком



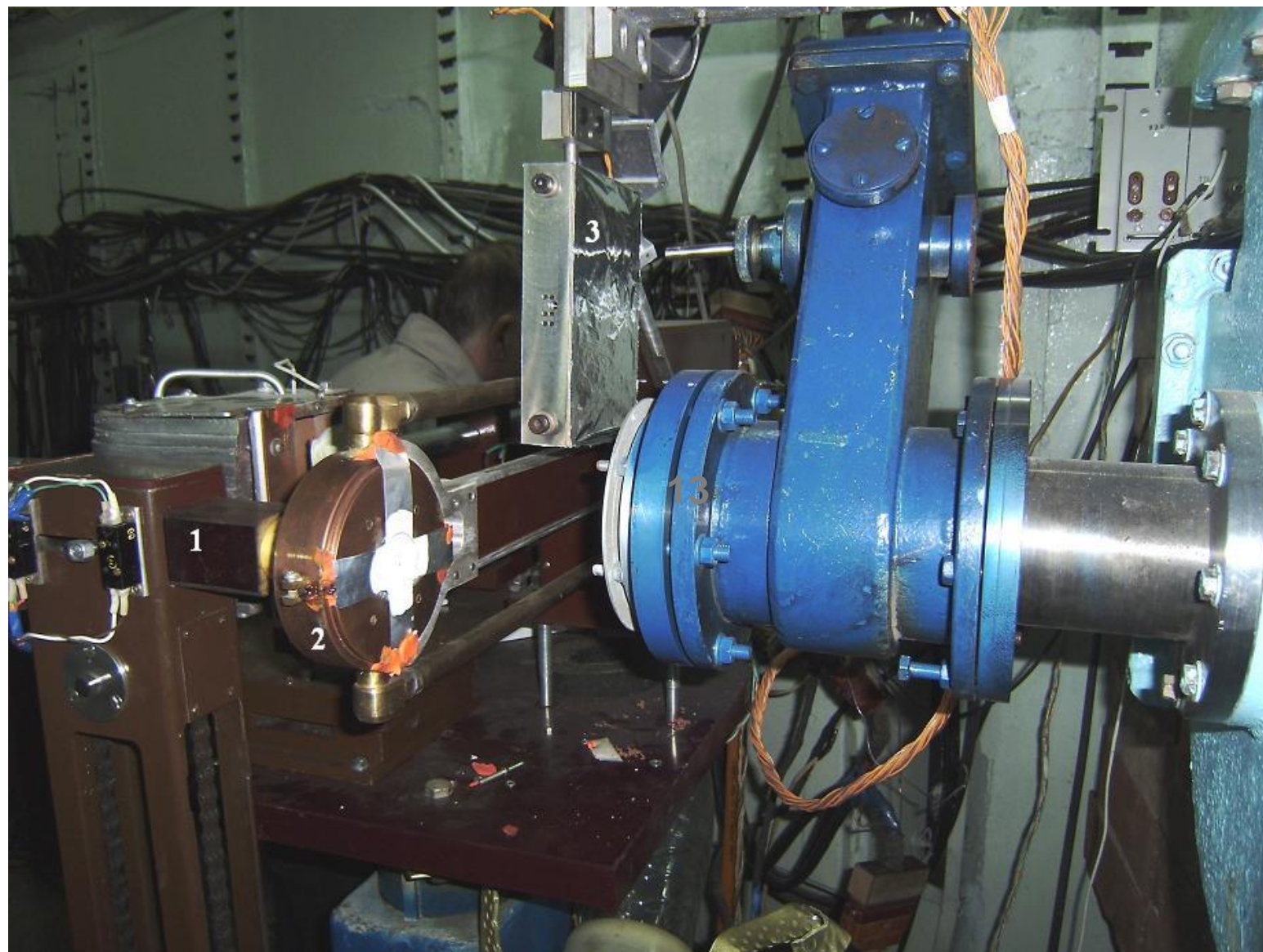
$T_{1/2} \sim 67 \text{ hours} \rightarrow {}^{99m}\text{Tc} (T_{1/2} \sim 6 \text{ hours})$

Альберт Аветисян - Руководитель отдела изотопов Национальной Научной лаборатории им. А.Алиханяна (Ереванский Физический Институт)

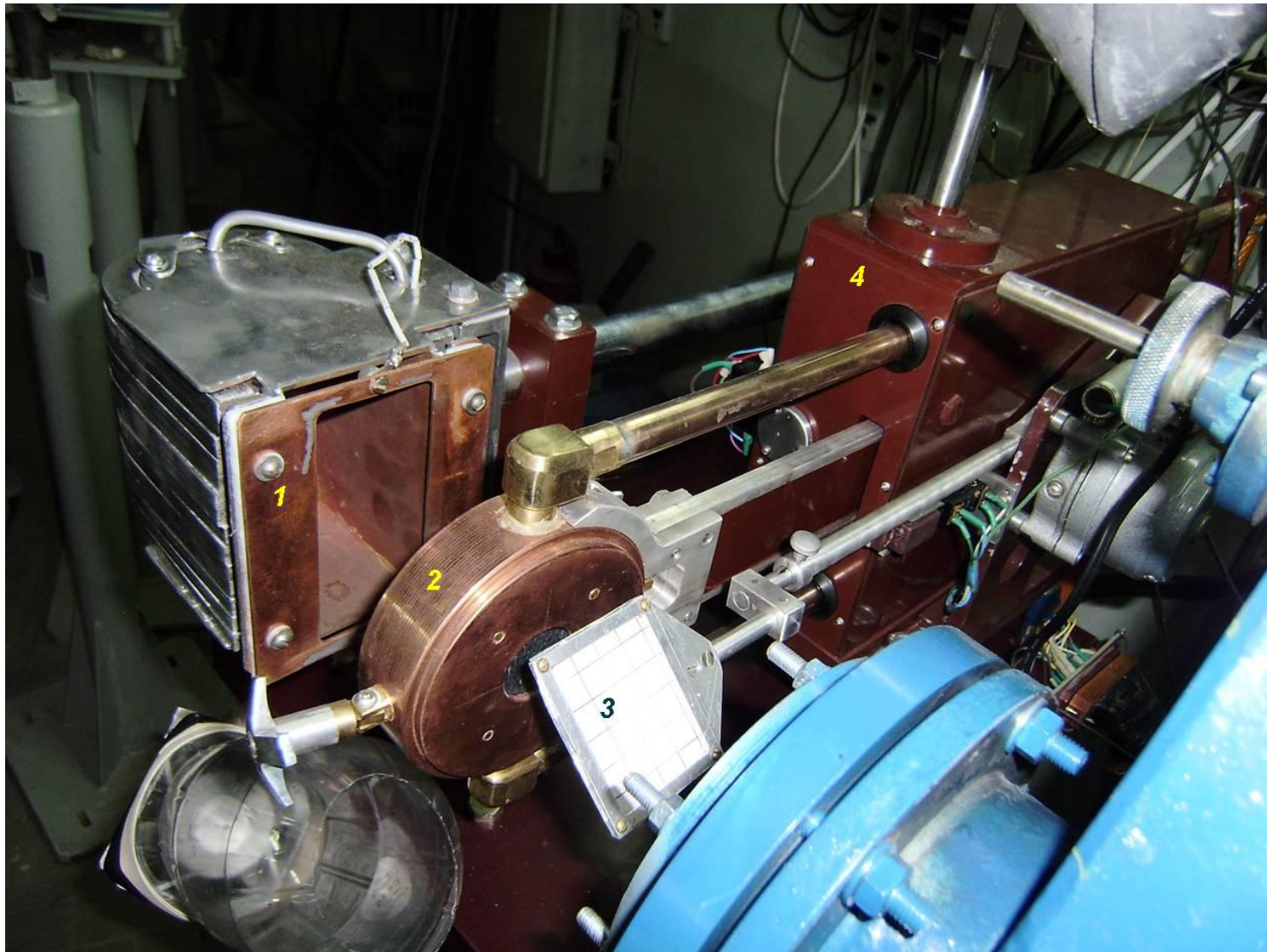
ЛИНЕЙНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ ЭЛЕКТРОНОВ ЛУЭ50



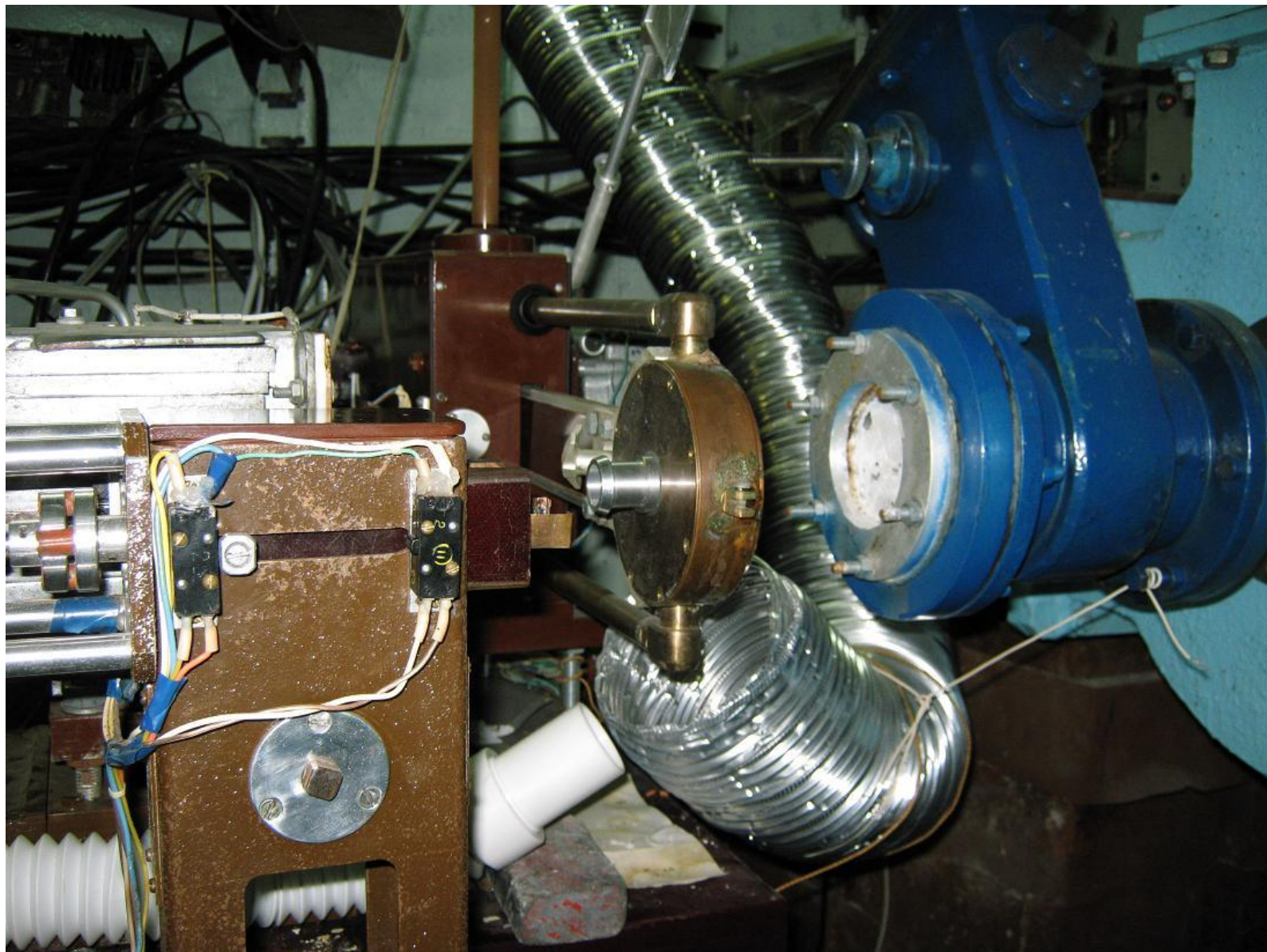
Альберт Аветисян - Руководитель отдела изотопов Национальной
Научной лаборатории им. А.Алиханяна (Ереванский Физический Институт) 12



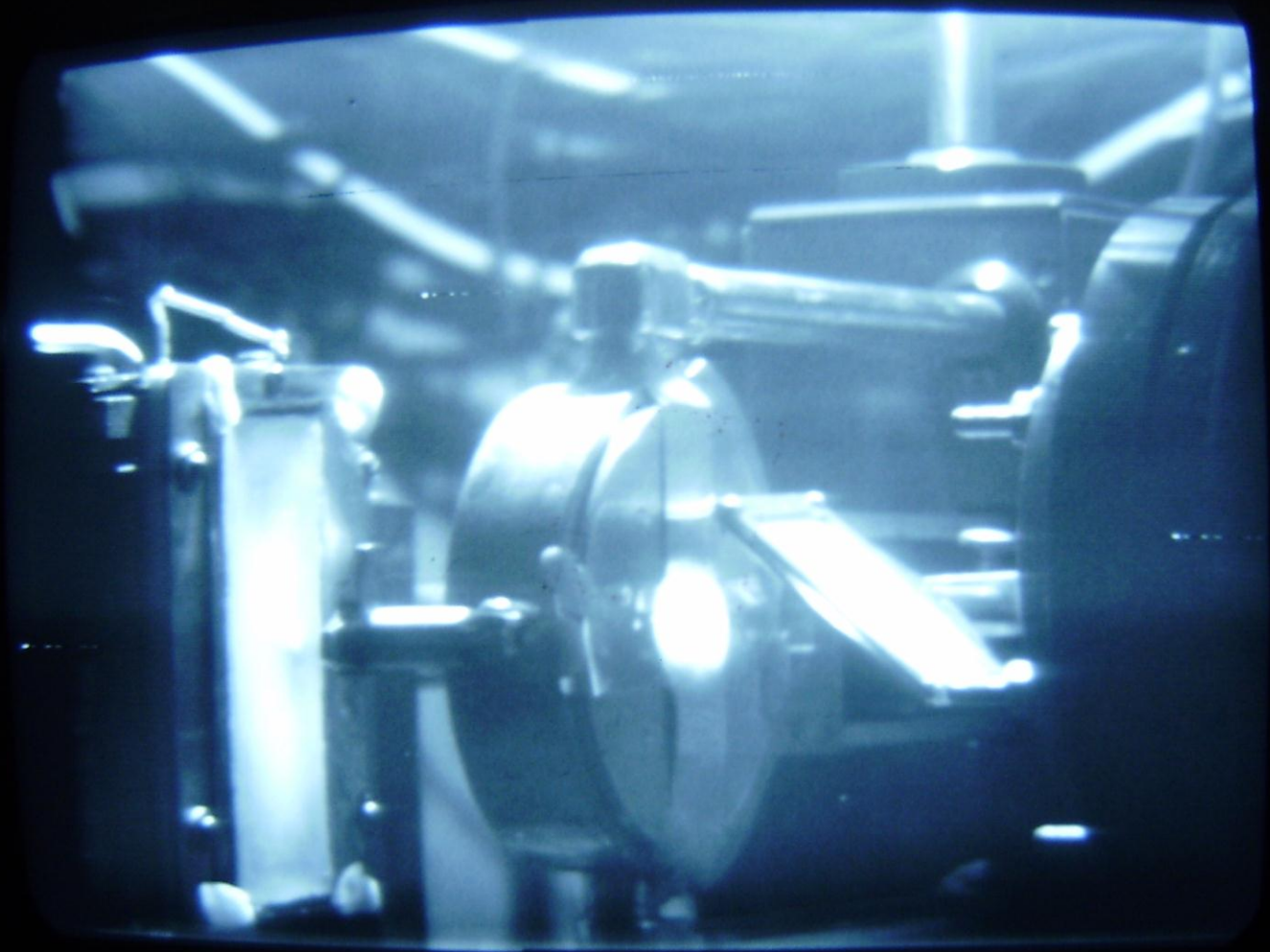
Альберт Аветисян - Руководитель отдела изотопов Национальной Научной лаборатории им. А.Алиханяна (Ереванский Физический Институт)



Альберт Аветисян - Руководитель отдела изотопов Национальной
Научной лаборатории им. А.Алиханяна (Ереванский Физический Институт)



Альберт Аветисян - Руководитель отдела изотопов Национальной Научной лаборатории им. А.Алиханяна (Ереванский Физический Институт)



Результат

- **Результат с научной точки зрения получился отличный – технология, чистота полученно технеция – все было хорошо. Однако с коммерческой точки зрения этот метод В НАШИХ УСЛОВИЯХ себя не оправдал! Из-за недостаточной интенсивности пучка выход был мал, и соответственно себестоимость продукции была выше чем стоимость генераторного технеция.**

Альберт Аветисян - Руководитель отдела изотопов Национальной Научной лаборатории им. А.Алиханяна (Ереванский Физический Институт)

В последние годы во всем мире активно разрабатываются методы прямого (минуя стадию получения материнского ^{99}Mo) получения $^{99\text{m}}\text{Tc}$ на протонных пучках циклотронов.

Кроме наличия довольно эффективной физической реакции, позволяющей такой механизм получения $^{99\text{m}}\text{Tc}$, есть еще такой довод в пользу этой методики.

С развитием ПЭТ технологии сканирования пациентов – для получения ПЭТ изотопов в мире установлено много сотен т.н. Медицинских циклотронов, с энергиями протонного пучка 15-30 МэВ.

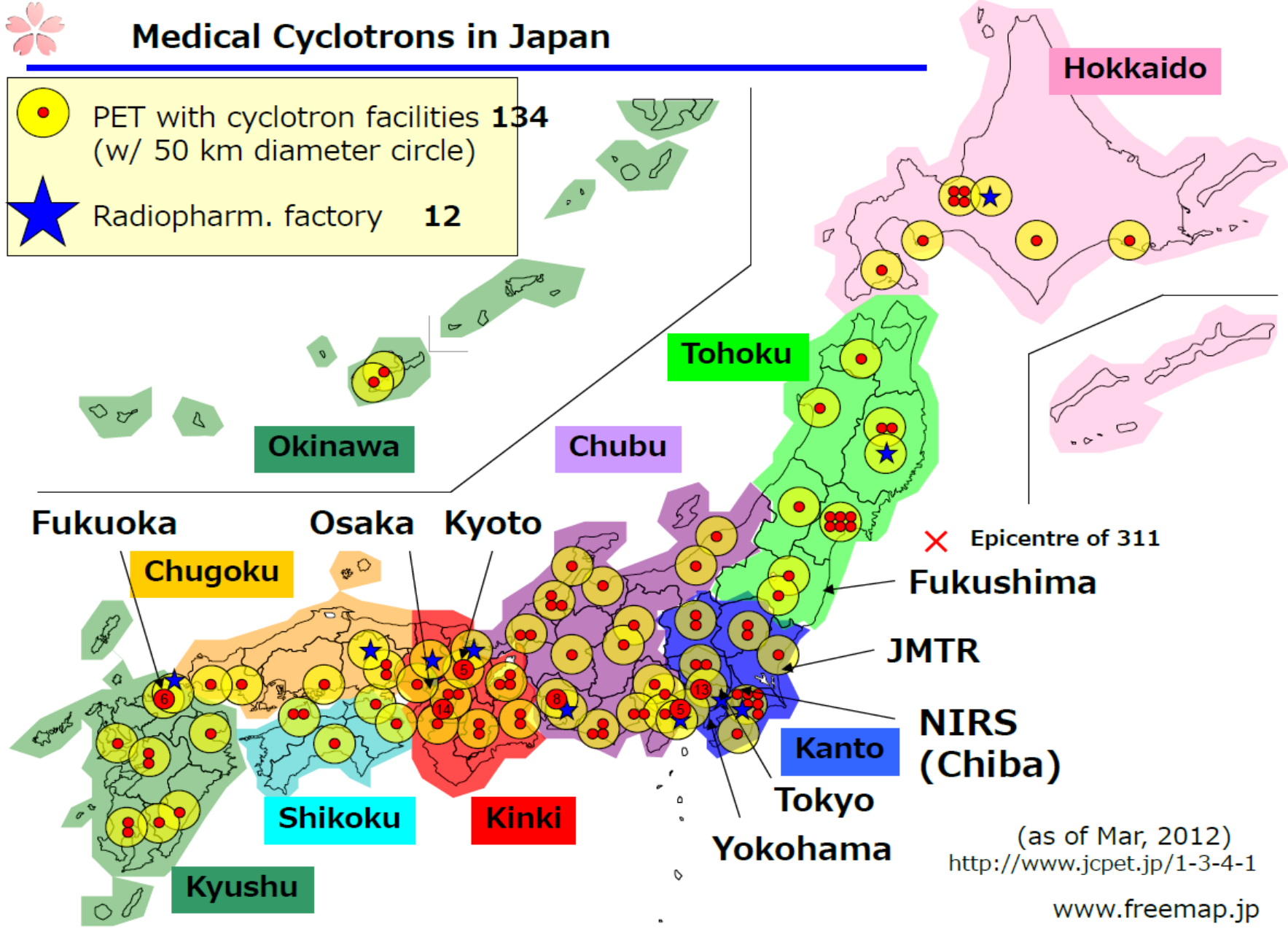
Именно на этих пучках параллельно можно производить и $^{99\text{m}}\text{Tc}$.



Medical Cyclotrons in Japan

PET with cyclotron facilities **134**
(w/ 50 km diameter circle)

Radiopharm. factory **12**



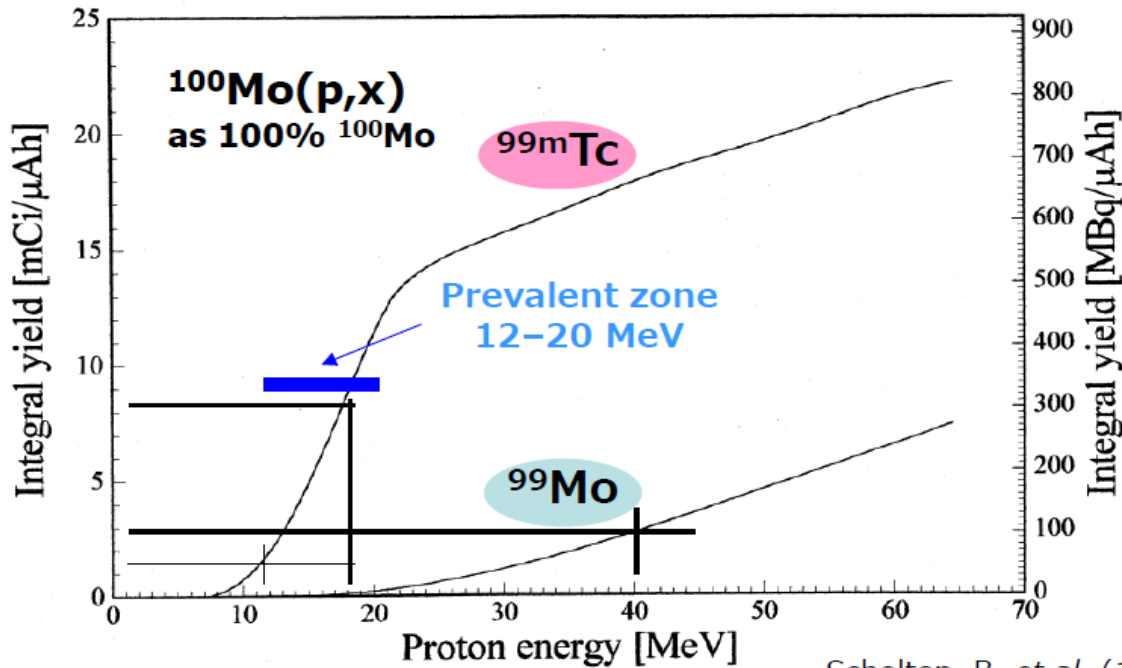
(as of Mar, 2012)
<http://www.jcpet.jp/1-3-4-1>

www.freemap.jp

Альберт Аветисян - Руководитель отдела изотопов Национальной Научной лаборатории им. А.Алиханяна (Ереванский Физический Институт)



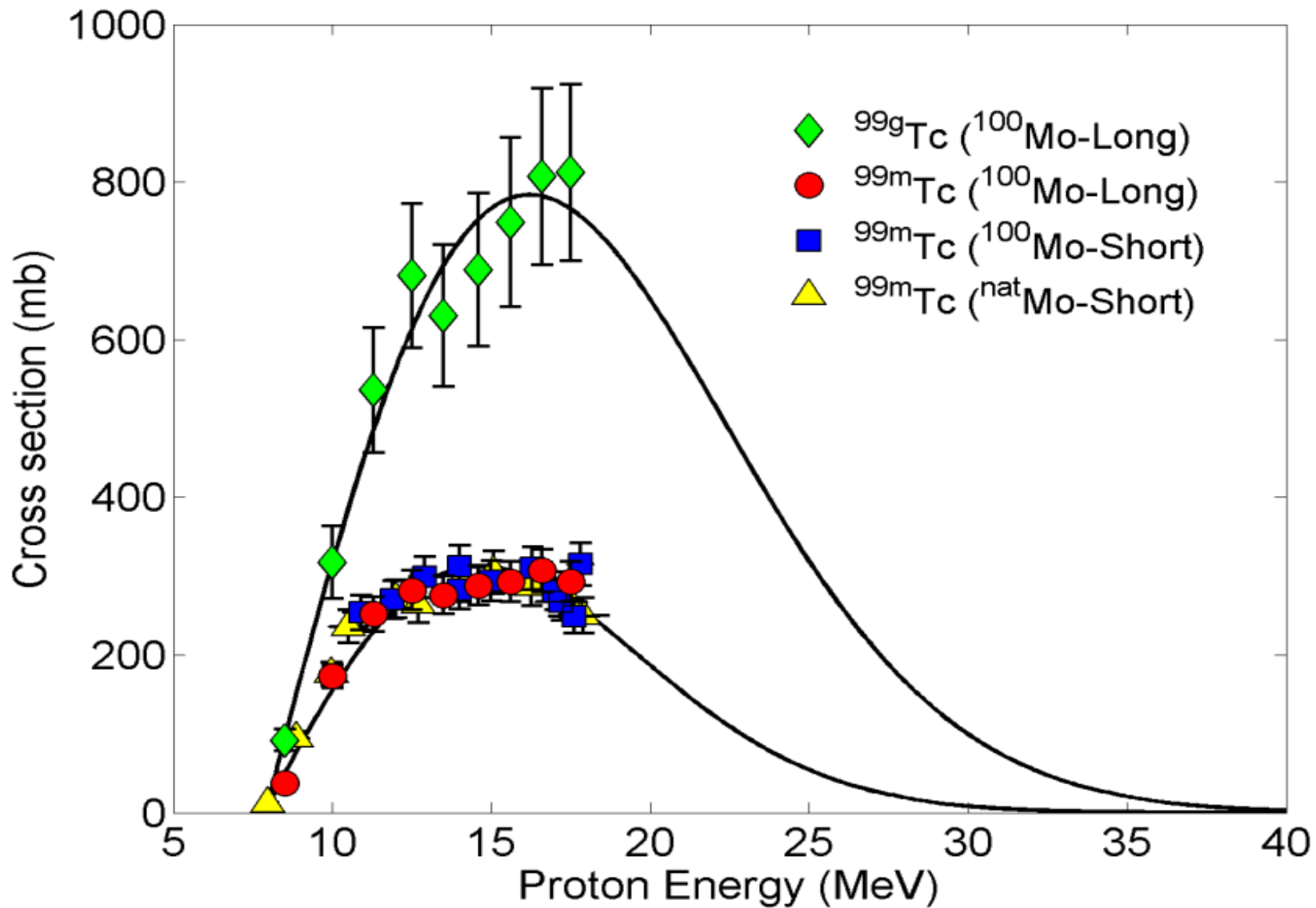
$^{100}\text{Mo}(p,2n)^{99m}\text{Tc}$: Expected yield



Scholten, B. et al. (1999) *Appl. Radiat. Isot.* **51**, 69-80

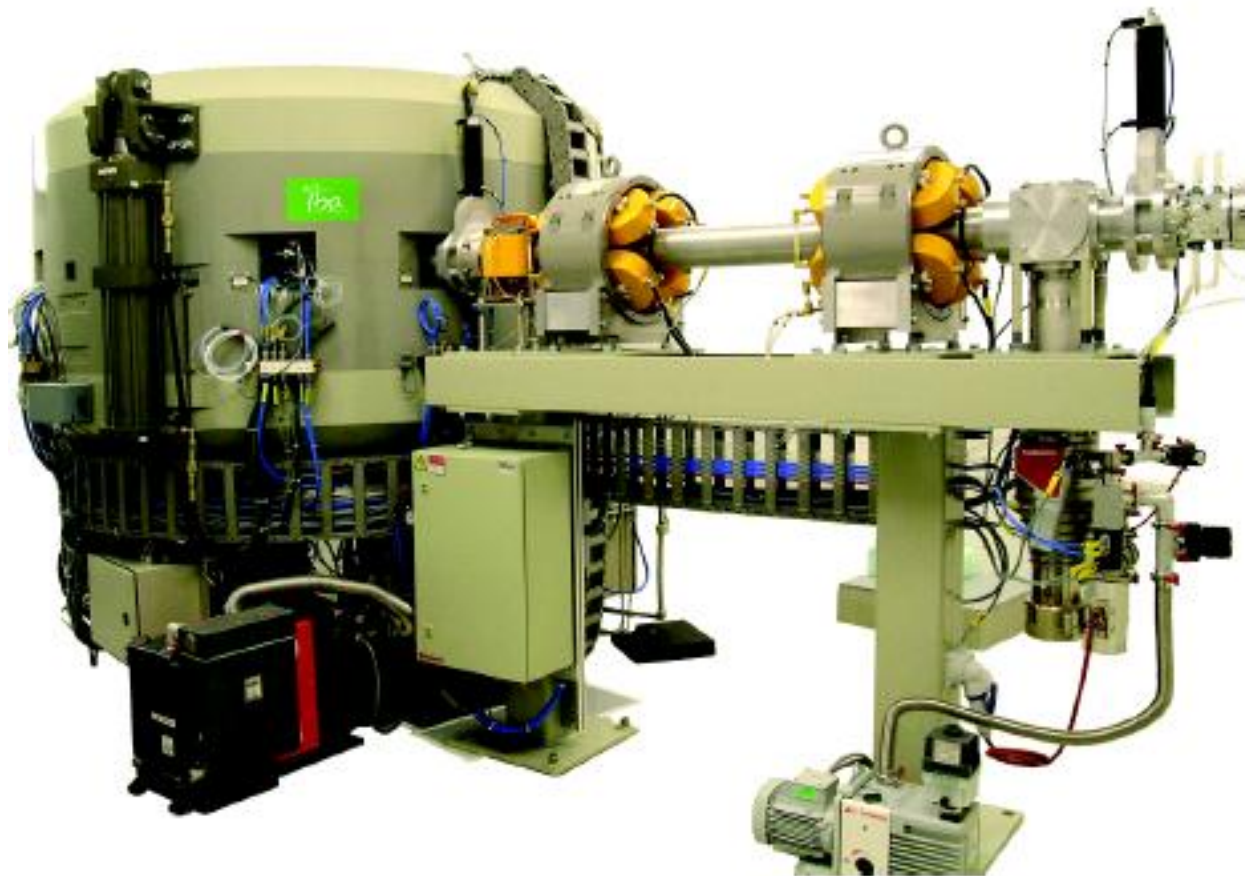
	Medical compact class		Medium class
E_p	12~20 MeV		24 MeV
Yield (1μA x 1h)	1~10 mCi/μAh		~15 mCi/μAh
Rough estimation	20 μA x 3h 55~550 mCi	50 μA x 3h 130~1370 mCi	250 μA+ x 3h 10 Ci+

Альберт Аветисян - Руководитель отдела изотопов Национальной Научной лаборатории им. А.Алиханяна (Ереванский Физический Институт)



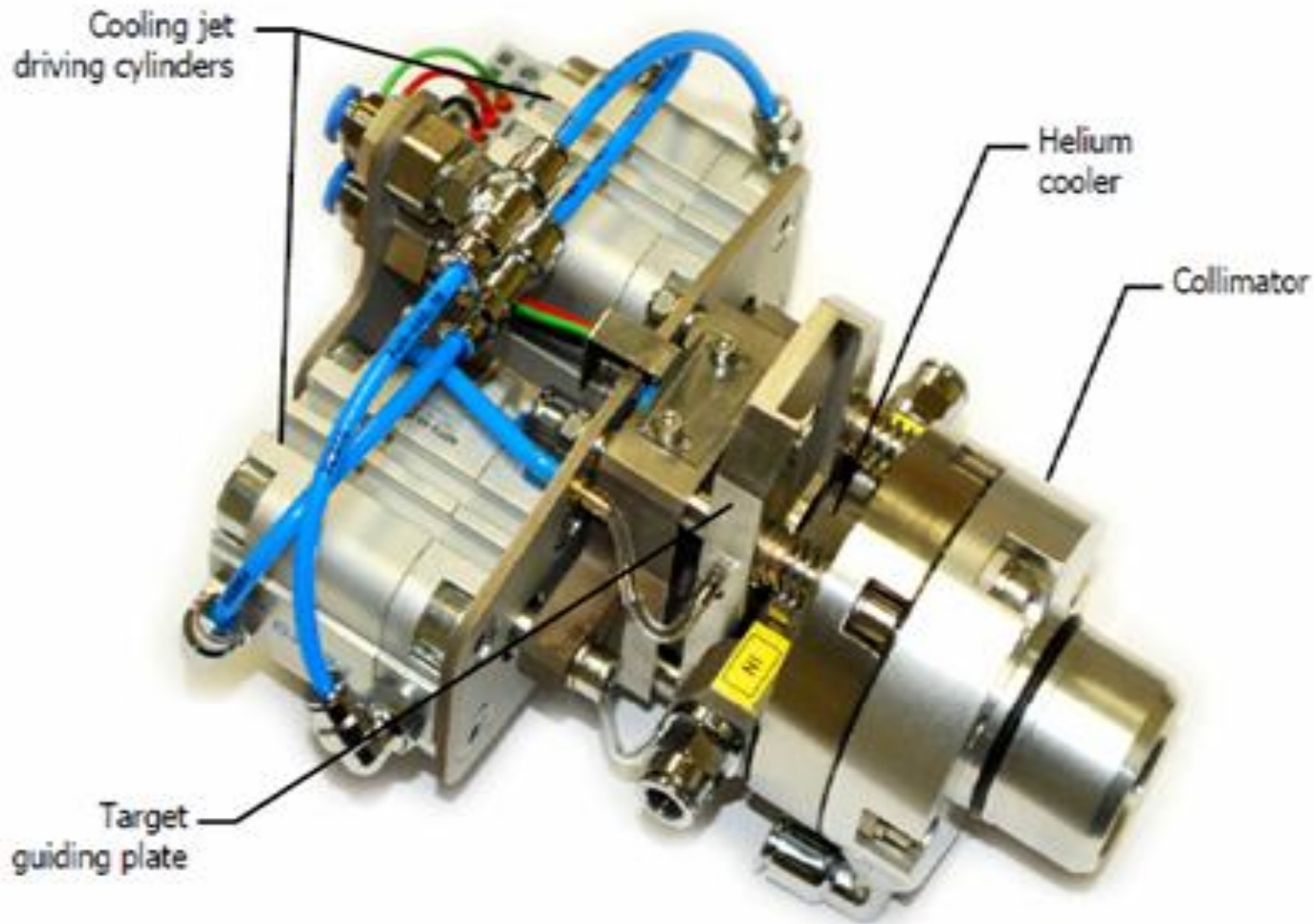
- Gagnon, et al., NMB 2011

В Армении создан Центр по Производству Изотопов по соседству с ЕрФИ



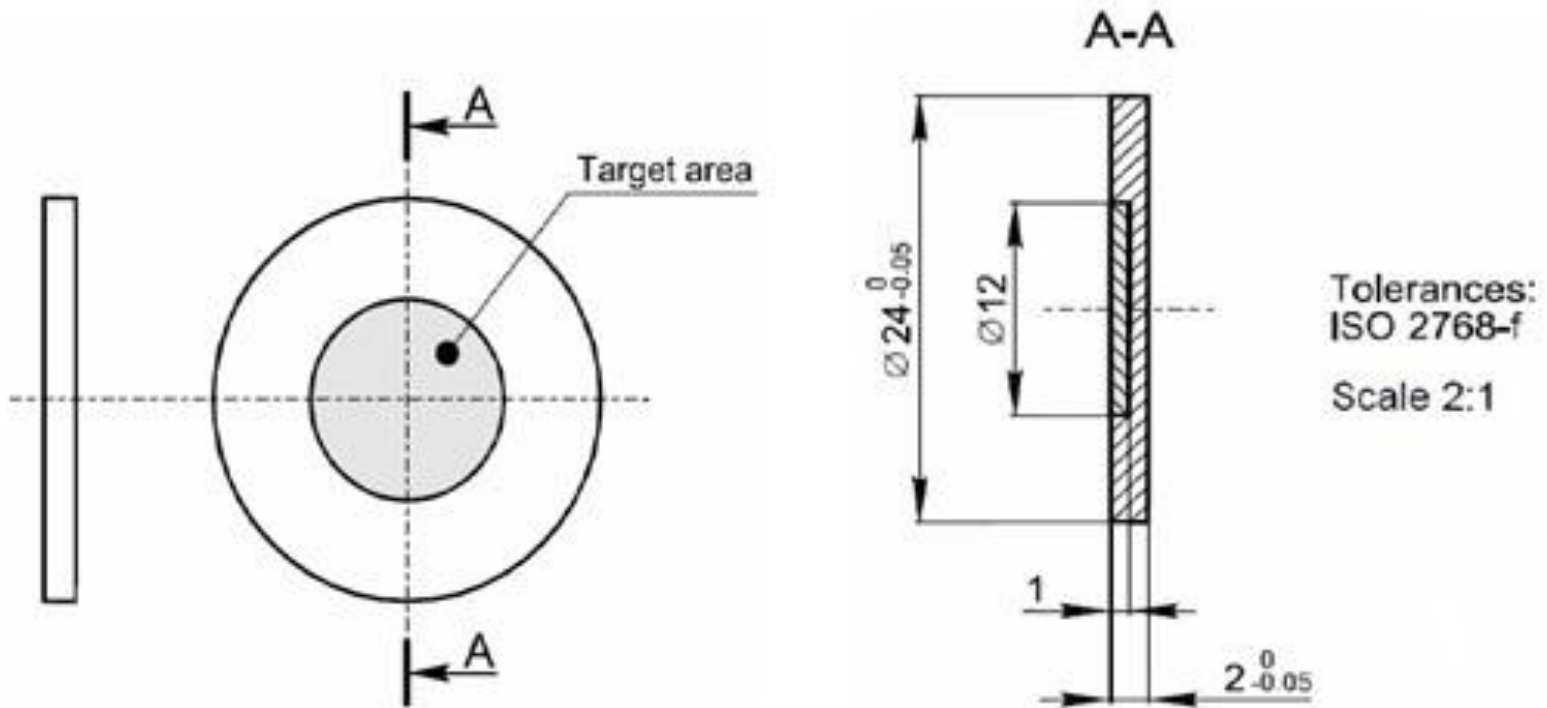
Циклотрон С18 с пучкопроводом выведенного пучка

Альберт Аветисян - Руководитель отдела изотопов Национальной Научной лаборатории
им. А.Алиханяна (Ереванский Физический Институт)



Твердотельный мишенный модуль Nitra Solid Compact TS06

Альберт Аветисян - Руководитель отдела изотопов Национальной Научной лаборатории им. А.Алиханяна (Ереванский Физический Институт)



Твердотельный мишенный ДИСК

Альберт Аветисян - Руководитель отдела изотопов Национальной Научной лаборатории им. А.Алиханяна (Ереванский Физический Институт)

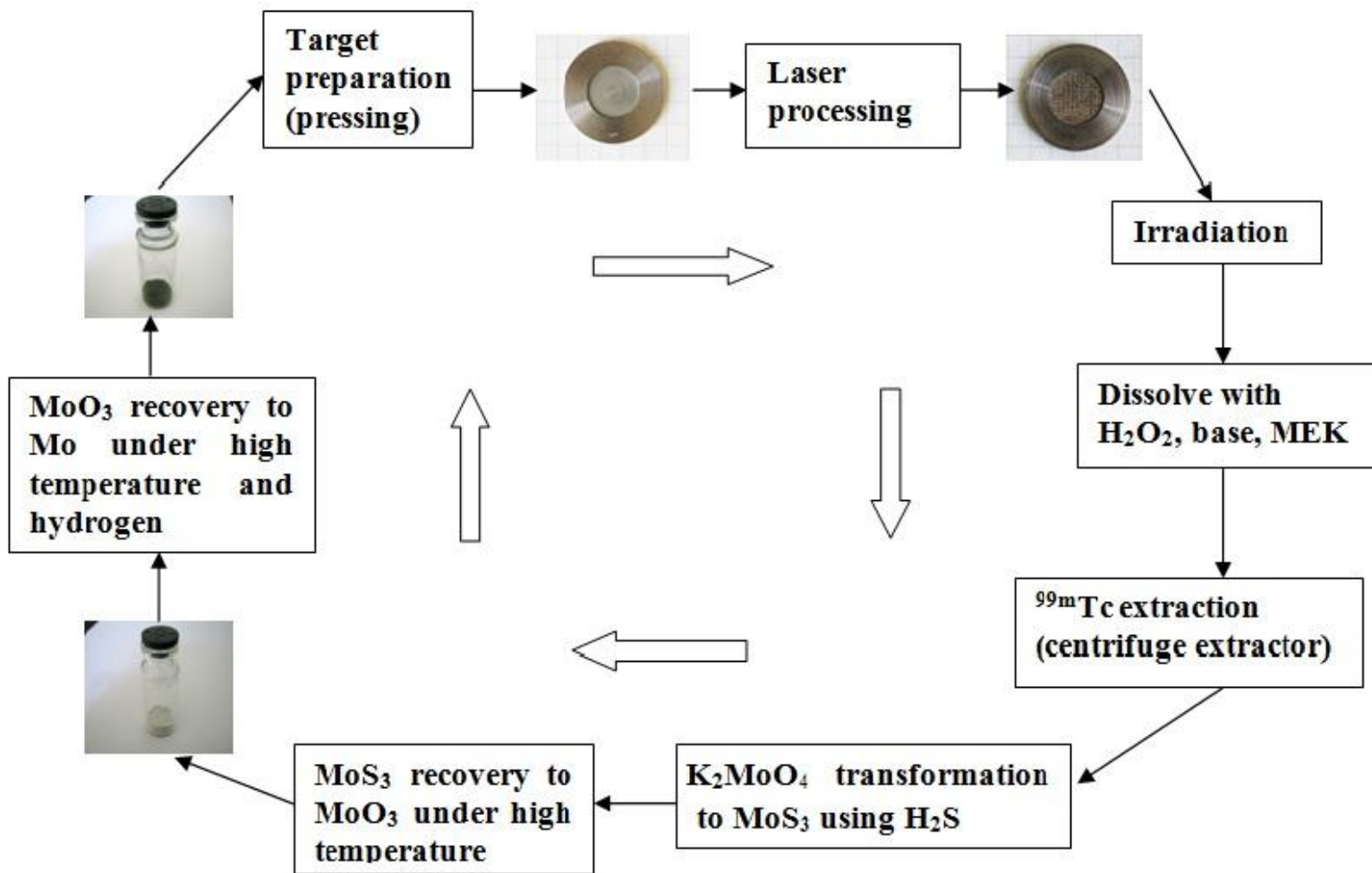


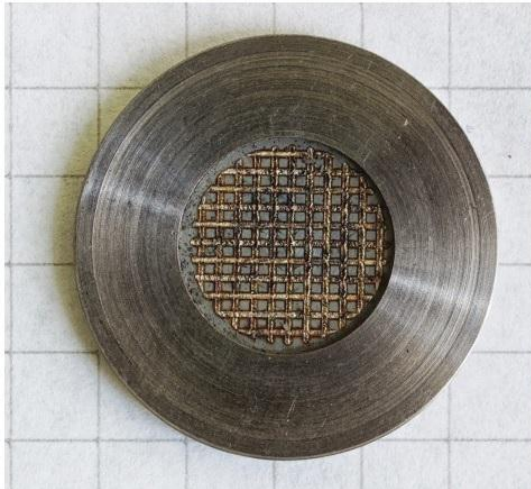
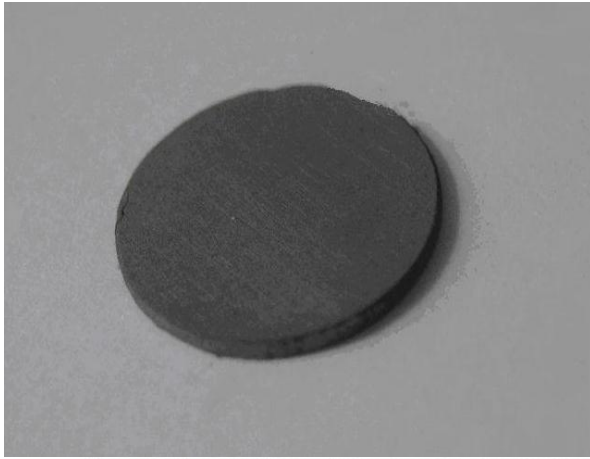
Схема восстановления Молибдена

Альберт Аветисян - Руководитель отдела изотопов Национальной Научной лаборатории им. А.Алиханяна (Ереванский Физический Институт)

Основные проблемы при прямом получении ^{99m}Tc

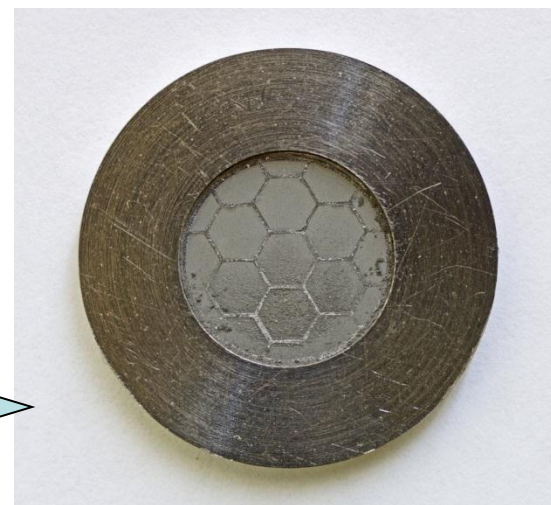
- Облучаемая молибденовая мишень должна обладать высокой механической прочностью и высокой теплопроводностью – чтобы в процессе облучения утилизировать выделяемую довольно высокую тепловую мощность.
- Система охлаждения мишени должна обеспечить утилизацию мощности не менее 1000 Вт.

Нами разработана новая технология изготовления молибденовых мишеней с применением лазерной обработки.



Альберт Аветисян - Руководитель отдела изотопов Национальной Научной лаборатории им. А.Алиханяна (Ереванский Физический Институт)

**Материал – титановая
фольга толщиной ~300мкм,
вырезанная лазерным
лучом.**



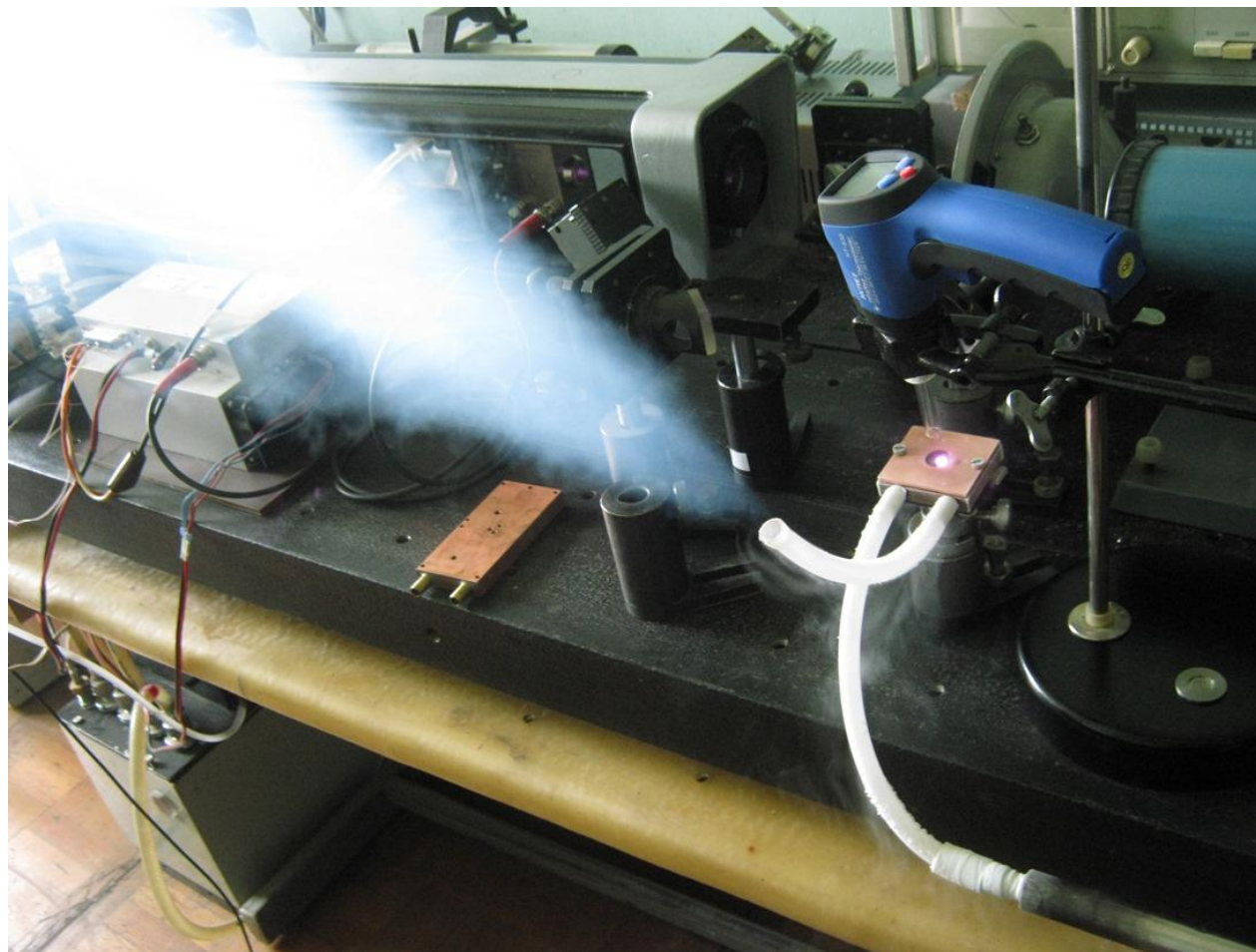
**Титановый диск с
ячеистой структурой и
запрессованным
молибденовым порошком.**

**Альберт Аветисян - Руководитель отдела изотопов Национальной Научной
лаборатории им. А.Алиханяна (Ереванский Физический Институт)**

А для более эффективного охлаждения мишени разработан макет системы криогенного охлаждения мишени.



Альберт Аветисян - Руководитель отдела изотопов Национальной Научной лаборатории им. А.Алиханяна (Ереванский Физический Институт)



**Тестирование проводилось при
облучении лазерным лучом
мощностью 50 Вт.**

Альберт Аветисян - Руководитель отдела изотопов Национальной Научной лаборатории
им. А.Алиханяна (Ереванский Физический Институт)

- Осенью текущего года запланированы первые облучения под пучком протонов с энергией $E_p=18$ МэВ.
- Работы ведутся под эгидой госбюджета Республики Армения и гранта МАГАТЭ CRP Contract 18029
- В наших работах мы активно сотрудничаем с организациями и специалистами из России и СНГ.

- Физико-технический институт при Томском политехническом университете (контакты - **Нестеров Евгений**, научный сотрудник лаб. 31) – обмен информацией.
- Институт ядерной физики Алма-ата – Казахстан (контакты - **Чакрова Елена Тихоновна** – начальник Научно-технического центра радиохимии и производства изотопов) – обмен информацией.
- Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна (контакты - **Кодина Галина Евгеньевна** - Заведующая отделом радиационных технологий медицинского назначения) – обмен информацией, консультации.

- Медрадиопрепарат - Федеральный центр по проектированию и развитию объектов ядерной медицины» ФМБА России – эта организация изготовила и поставила в ЕрФИ достаточно уникальный центробежный экстрактор для выделения ^{99m}Tc из облученной молибденовой мишени.
- Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук (ИФХЭ РАН). (Контакты – Александр и Олег Филянины).



Альберт Аветисян - Руководитель отдела изотопов Национальной Научной лаборатории им. А.Алиханяна (Ереванский Физический Институт)

- Достояна внимания деятельность в России медицинской компании UNIX. Поскольку в настоящее время в России имеется острый недостаток стационарных циклотронов и ПЭТ центров, то развиваются нестандартные решения. Хорошим примером может служить разработка **медицинской компании UNIX**, с которой наш институт недавно начал сотрудничать. Эта фирма разработала мобильное решение для ПЭТ, включающий Мини-циклотрон для позитронно-эмиссионной томографии «BG-75 System (Biomarker Generator)» с автоматизированным радиохимическим модулем синтеза и модулем контроля качества.



Циклотрон в собственной защите



Химический производственный модуль
Модуль контроля качества



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Предлагаемая методика прямого получения ^{99m}Tc – минуя стадию ^{99}Mo – является многообещающей с учетом роста числа медицинских циклотронов во всем мире.
2. Технологические проблемы, в частности в вопросах приготовления мишеней, их охлаждения и восстановления молибдена для многократного использования – близки к разрешению.

3. В Национальной научной лаборатории им. А.Алиханяна (Ереванский Физический институт) предполагается провести первые обучения молибденовой мишени на циклотроне С18 – до конца текущего года.

4. В более далекой перспективе ожидается опытное производство ^{99m}Tc , с целью полностью покрыть потребность республиканских клиник в этом изотопе.

ՇՆՈՐՀԱԿԱԼՈՒԹՅՈՒՆ
ՈՒՇԱԴՐՈՒԹՅԱՆ
ՀԱՄԱՐ

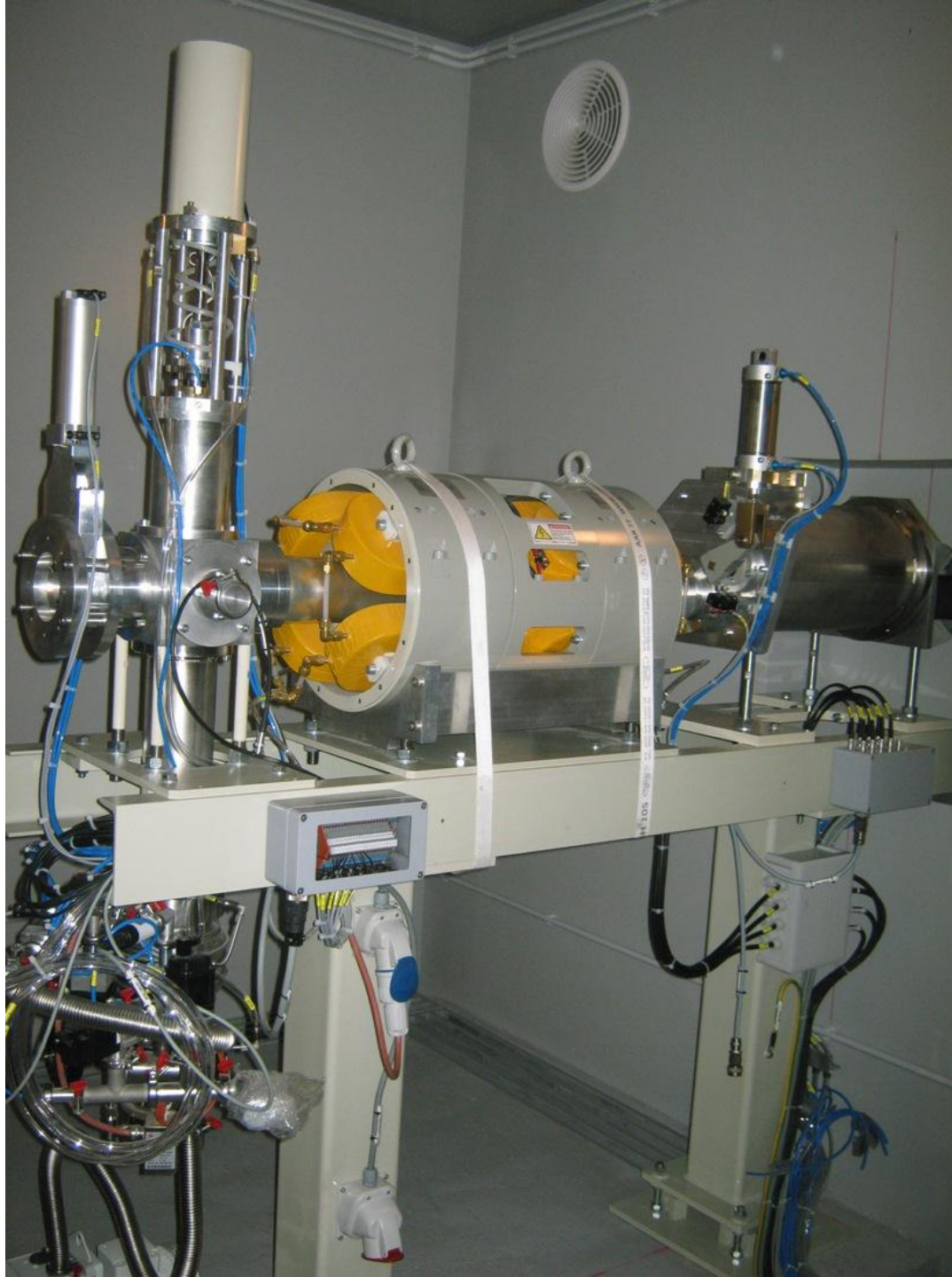
**СПАСИБО ЗА
ВНИМАНИЕ!**













PHILIPS

