

- КОМПЛЕКС МОСКОВСКОЙ
МЕЗОННОЙ ФАБРИКИ ИЯИ РАН

- Л.В.Кравчук
- 25.06.2004

Общая схема Московской мезонной фабрики ИЯИ РАН



- **Сильноточный линейный ускоритель.**
- **Экспериментальный комплекс.**
- **Комплекс по производству радиоизотопов.**
- **Комплекс инженерных и вспомогательных сооружений.**

Линейный ускоритель протонов ММФ

Структурная схема линейного ускорителя Московской мезонной фабрики

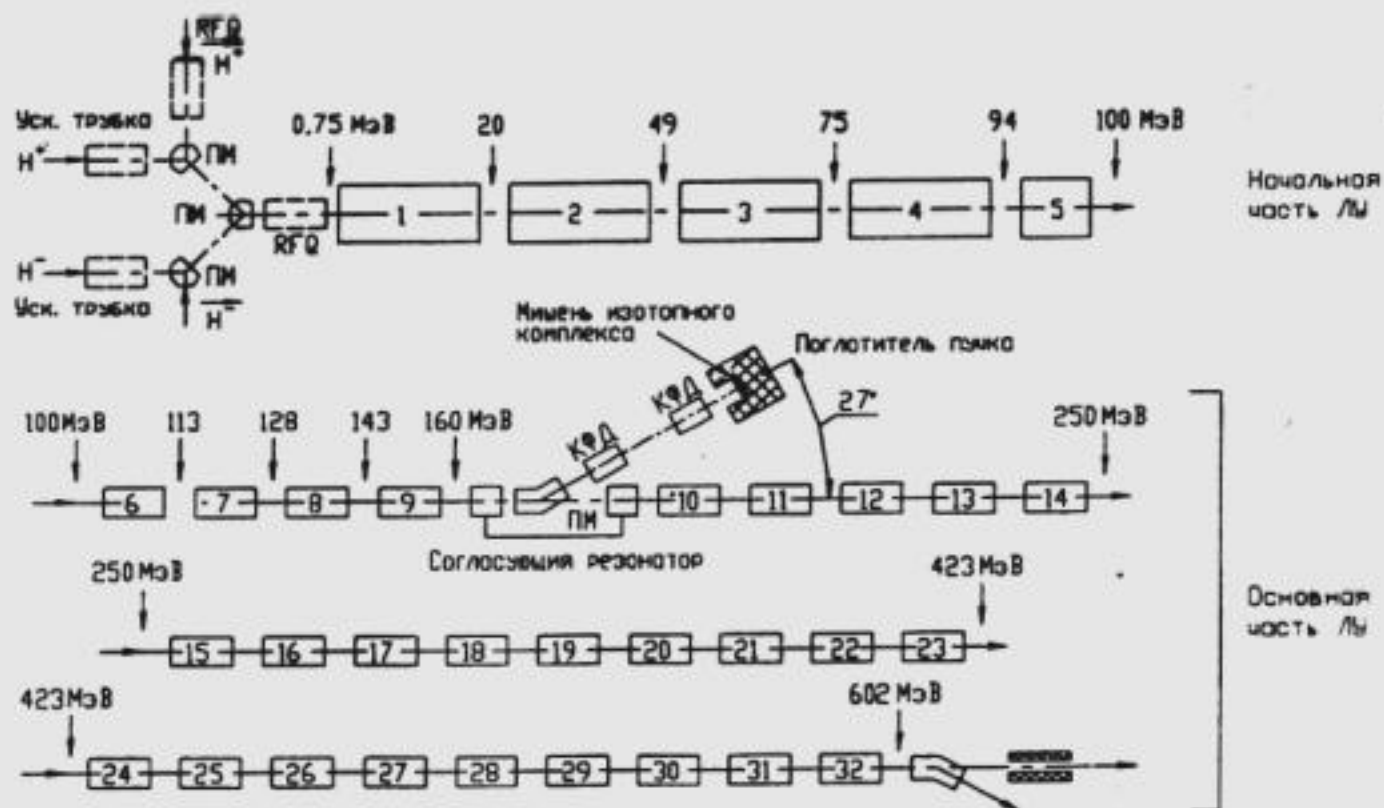


Схема ЛУММФ. 5 структурных секторов.

1-й сектор — инжекторный комплекс, 2-й сектор — начальная часть ЛУ, 3-й, 4-й, 5-й секторы — основная часть ЛУ

Инжектор протонов ЛУ ММФ



Инжектор протонов

На заднем плане перед стальной защитной шторкой расположена ускорительная трубка. Куб на изолирующей колонне содержит систему питания дуоплазматрона (источника протонов). В середине – импульсный трансформатор 750 кВ. На переднем плане – стойка стабилизации вершины высоковольтного импульса (красная колонна)



Начальная часть ЛУ ММФ

20 МэВ

49 МэВ

74 МэВ

94 МэВ

100 МэВ

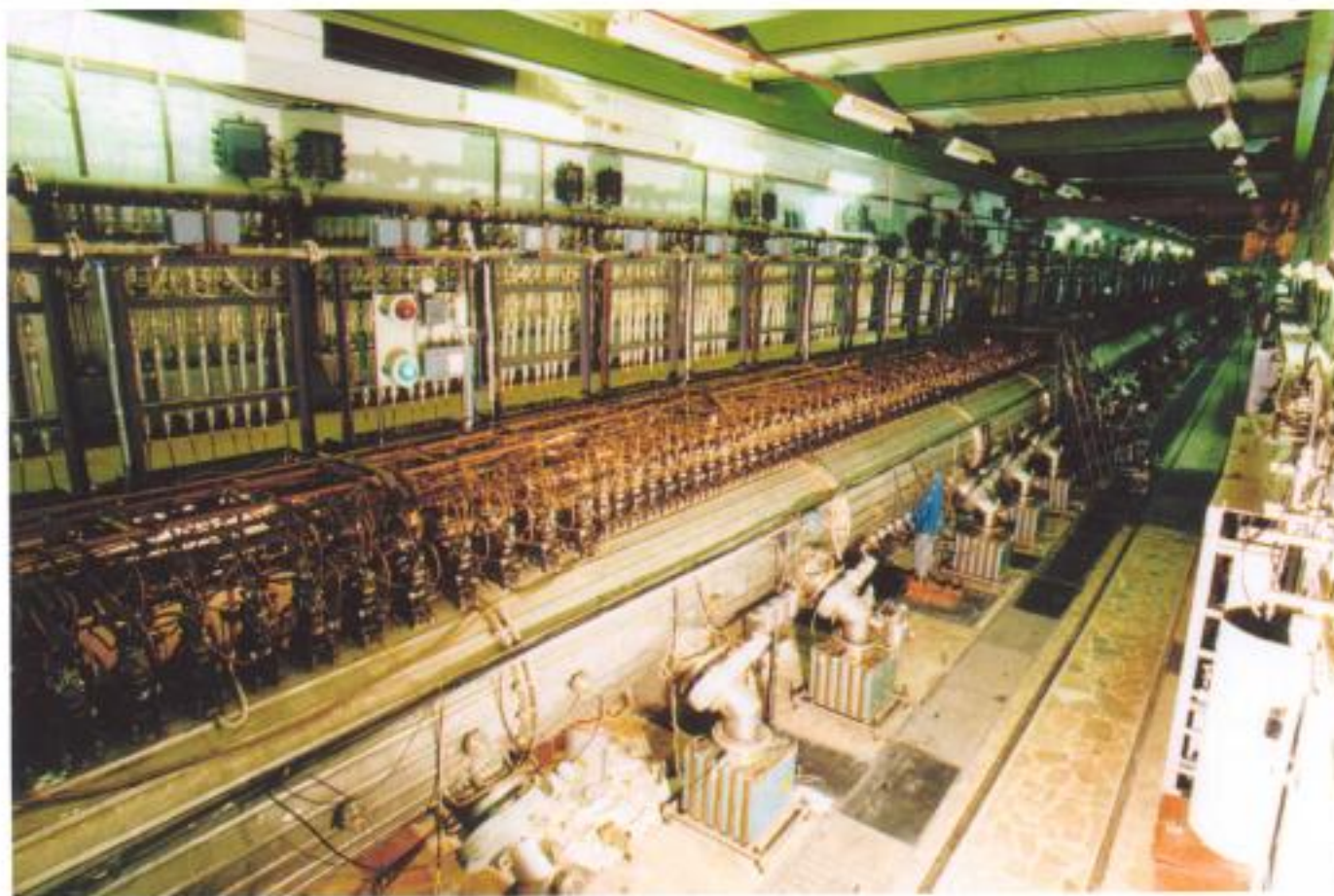
Рез. 1

Рез. 2

Рез. 3

Рез. 4

Рез. 5



Основная часть ускорителя



**Ускоряющие резонаторы
основной части ускорителя**



**Галерея ВЧ питания основной
части ускорителя**



**Участок перехода из
начальной в основную часть
ускорителя (100 МэВ)**

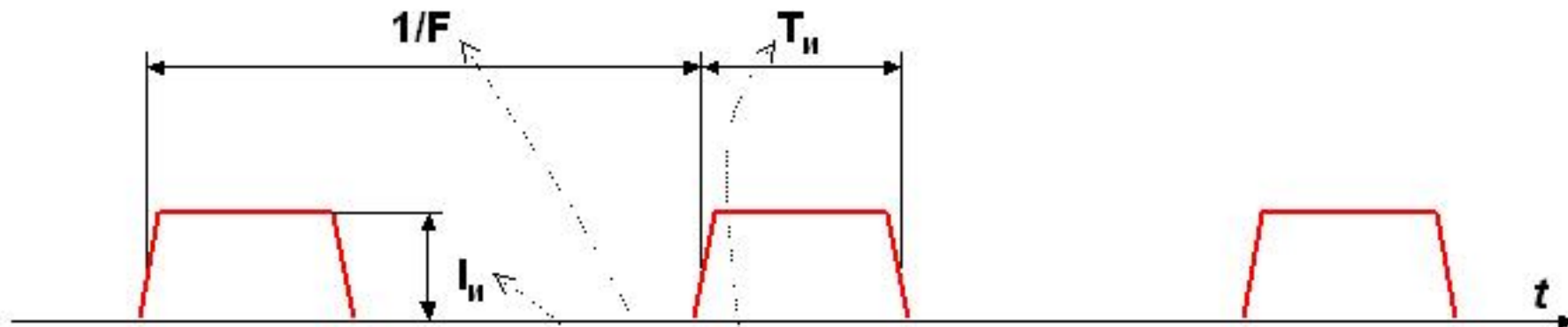


**Участок промежуточного
вывода при энергии 160 МэВ**

Центральный пульт ускорителя



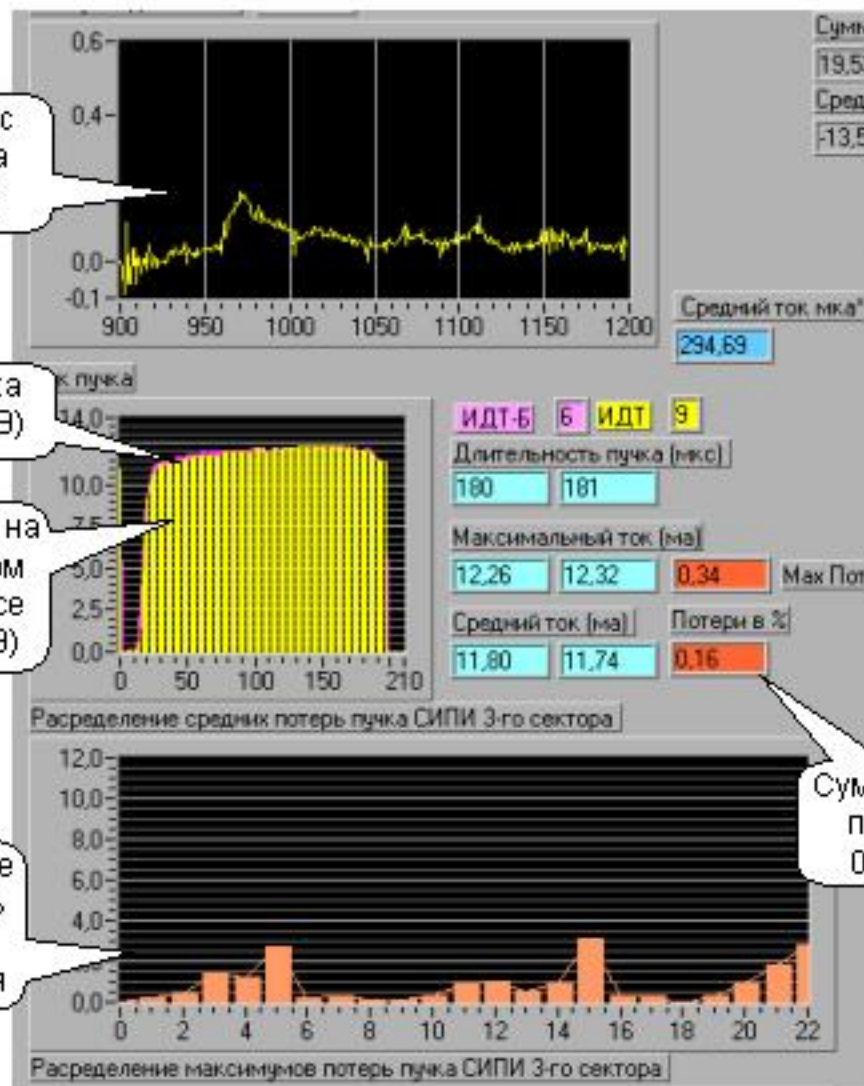
Основные параметры пучка



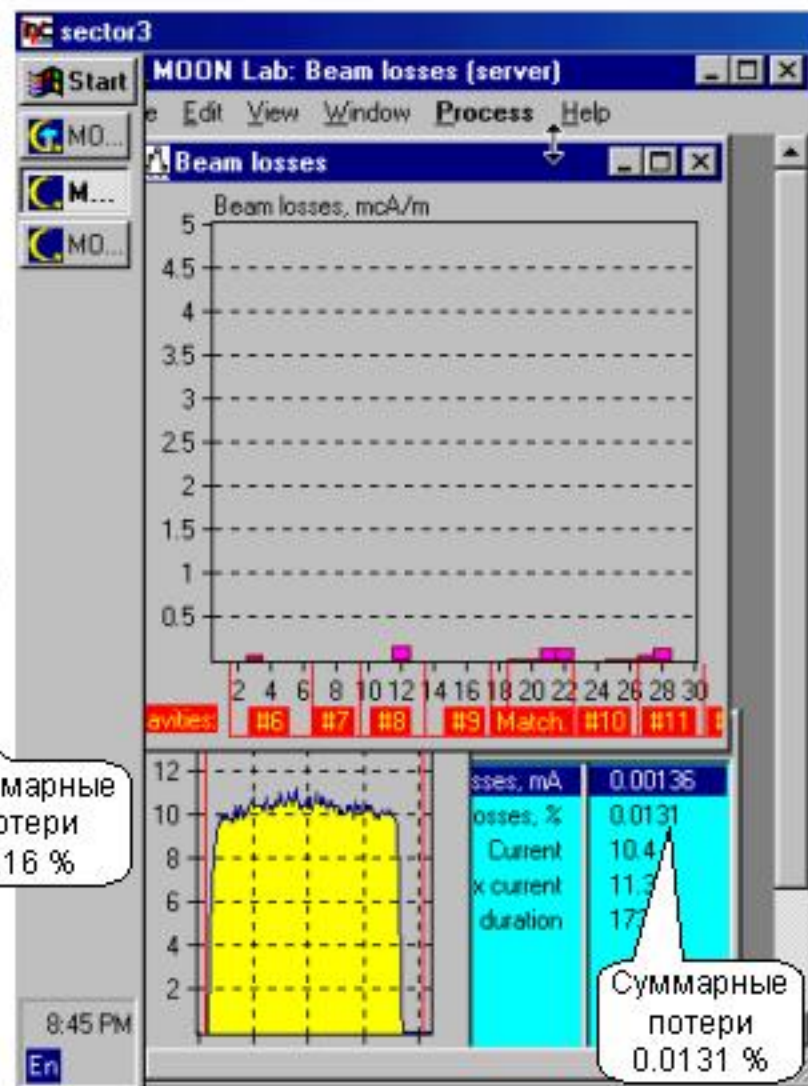
1. Тип ускоряемых частиц
2. Энергия пучка
3. Импульсный ток пучка $I_{и}$
4. Частота повторения F
5. Длительность импульса $T_{и}$
6. Средний ток пучка $I_{ср} = I_{и} \cdot T_{и} \cdot F$

№	Параметр	Проектное значение	Достигнутое значение	Март 2004	Март 2005	Перспектива
1	Ускоряемые частицы	H ⁺ , H ⁻	H ⁺	H ⁺	H ⁺	H ⁺ , H ⁻
2	Энергия, МэВ	600	502	209	305	502
3	Импульсный ток, мА	50	16	12	12	16
4	Частота повторения, Гц	1÷100	1 ÷ 50	1 ÷ 50	1 ÷ 50	1÷100
5	Длительность импульса, мкс	100	0,5 ÷ 200	0,5 ÷ 170	0,25 ÷ 170 (2 импульса)	0,25 ÷ 170 (2 импульса)
6	Средний ток, мкА	500	50 (209 МэВ) 150 (160 МэВ)	50 (209 МэВ) 150 (160 МэВ)	50 (209 МэВ) 150 (160 МэВ)	300

Потери пучка – критерий работы ускорителя



Работа на изотопный комплекс



Работа на экспериментальный комплекс

Работа ускорителя

1993 год - Начало регулярной работы на физические и прикладные задачи

С 1993 ÷ конец 2003 проведено **50** сеансов общей продолжительностью **23500** часов

В том числе:

1999 год – **2300** часов;

2000 год – **1800** часов;

2001 год – **2400** часов;

2002 год – **1382** часа;

2003 год – **2448** часов.

январь - апрель 2004 года – **1100** часов.

Работа ускорителя. Надежность.

Пример работы на комплекс по производству изотопов.

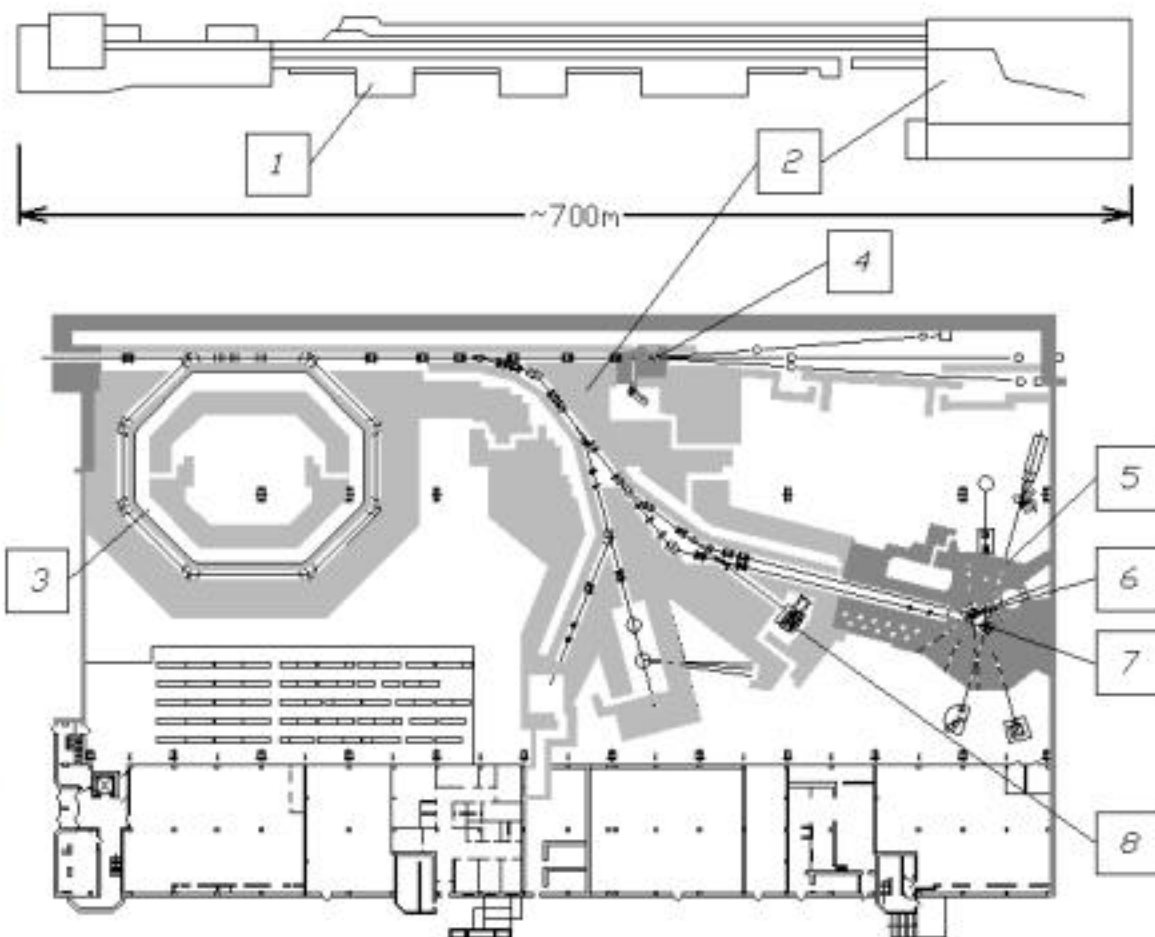
Энергия пучка: 143 МэВ.

Средний ток пучка: 100 мкА

Сеанс	Наработанный интеграл, мкА·час	Затраченное время, час	Усредненный ток за время облучения, мкА
Декабрь 2003 г.	17937	230	78
Январь 2004 г.	13769	225	61
Февраль 2004 г.	16777	252	67

Экспериментальный комплекс ММФ.

The Linac and the Experimental Complex of MMF:



1- the main building of the Linac;

2- the Experimental Complex;

3- the storage ring (not completed);

4- the RADEX facility (modified beam stop) with neutron guides for TOF spectrometry;

5- the spallation neutron source INS-0.6 with neutron guides for solid-state spectrometers;

6- the target box of INS-0.6 for ADS studies;

7- the tungsten target of INS-0.6;

8- the 100-tons spectrometer on slowing down in lead.

Experimental Possibilities of the Neutron Complex

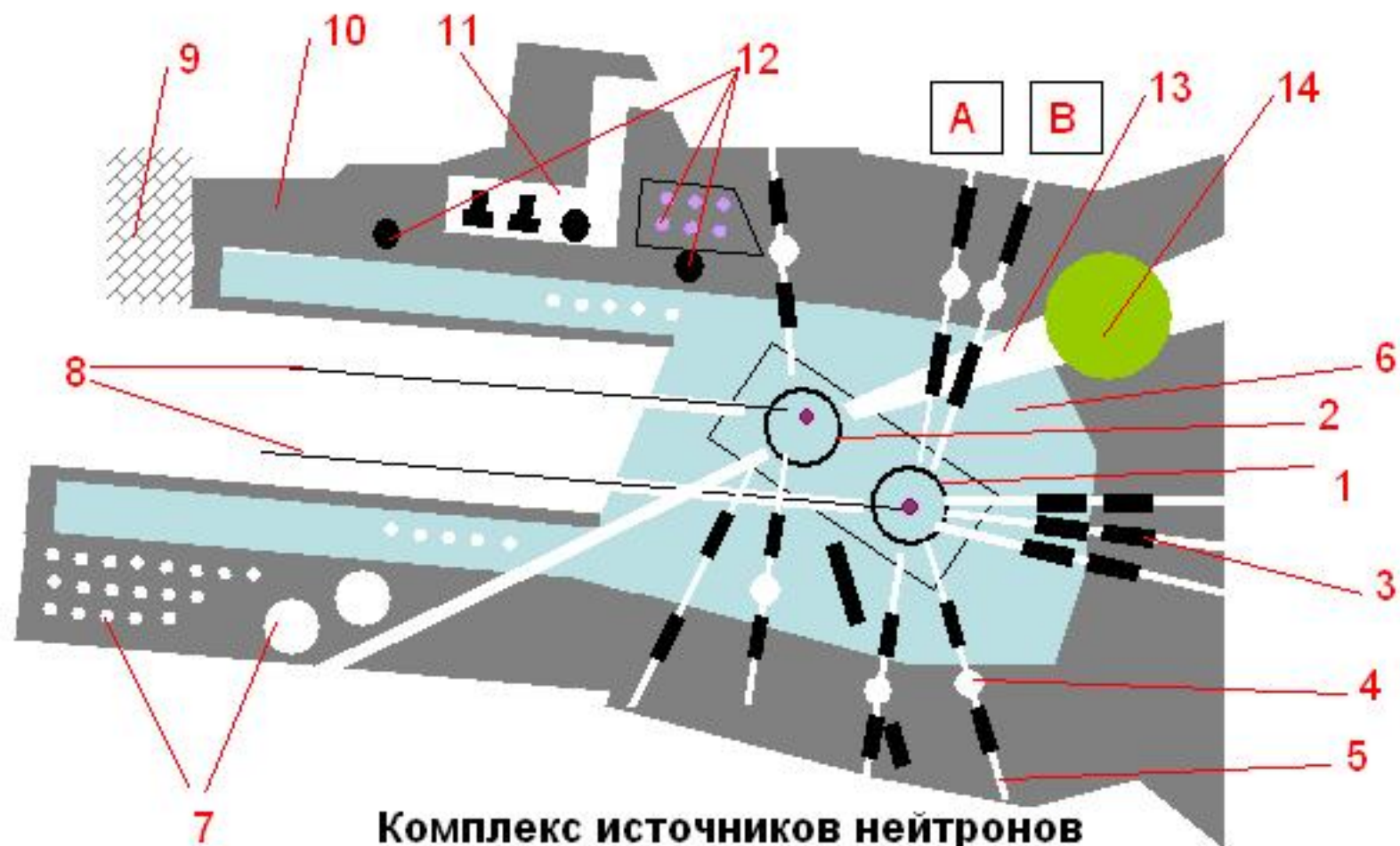
- The spallation neutron source INS-0.6 with a number of multipurpose spectrometers
- The 100-tons spectrometer on slowing-down in lead LNS-100
- The RADEX facility (modified beam stop) with neutron guides and stations for TOF spectrometry

Experimental Possibilities of the Neutron Complex



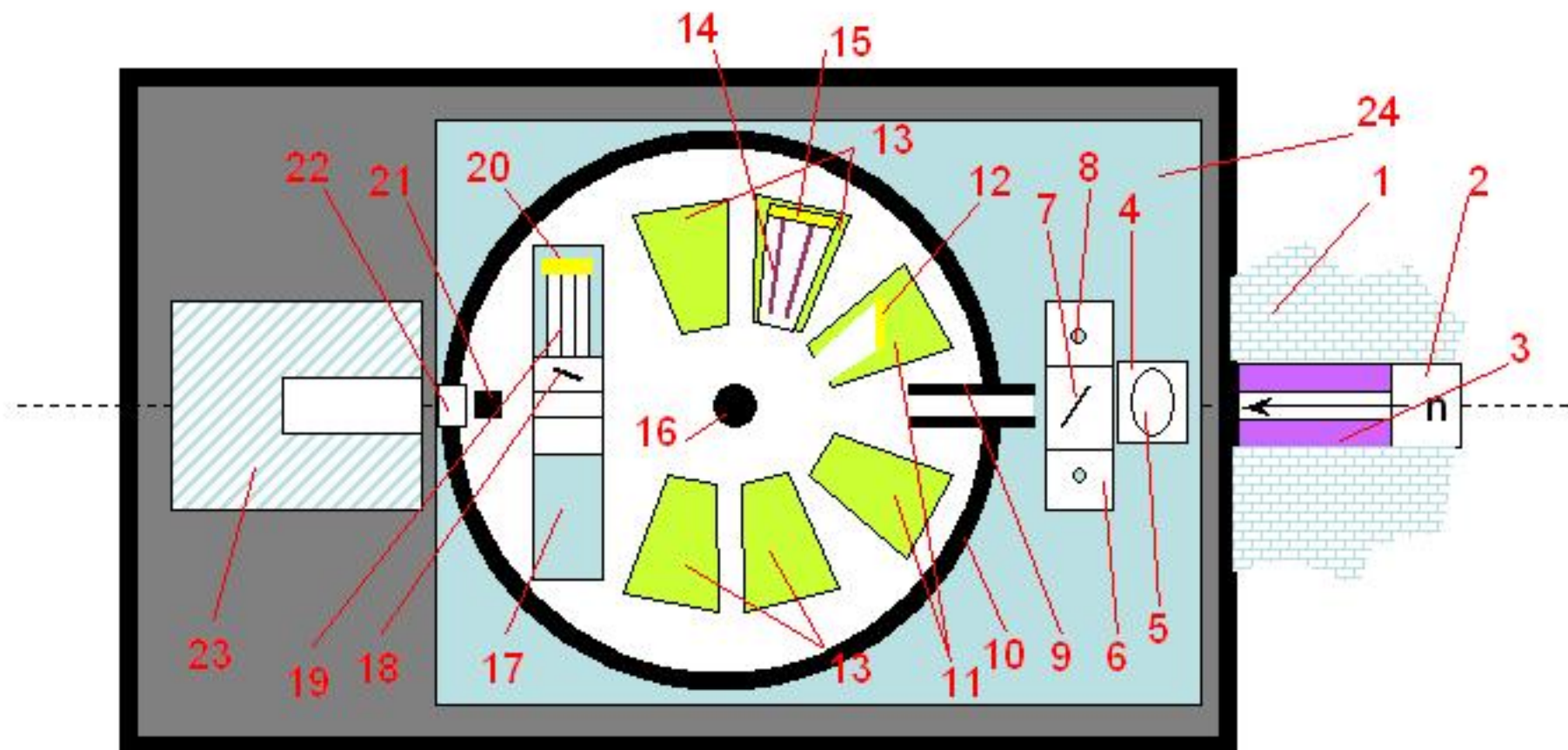
**The tungsten
 target of the
 spallation source
 INS-0.6**

**The second box
 of the INS-0.6
 (for ADS
 experiments)**



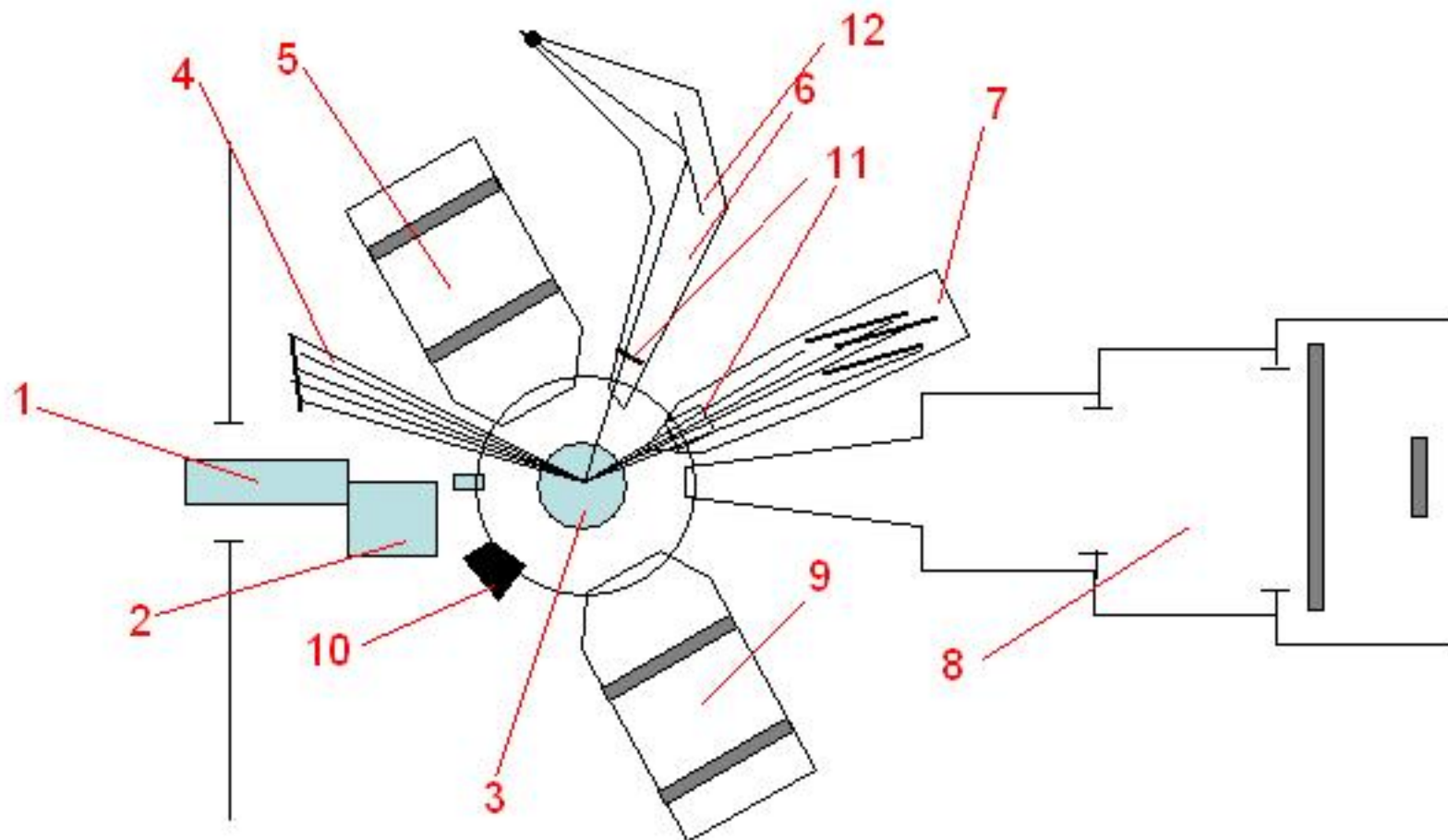
Комплекс источников нейтронов

1. Бокс 1-ого источника нейтронов. 2. Бокс 2-го источника нейтронов. 3. Шиберы. 4. Вертикальные проходки на нейтроноводах диаметром 0.9 м для установки дополнительного экспериментального оборудования. 5. Нейтроноводы диаметром 0.2 м. 6. Железная защита. 7. Промежуточные хранилища газовых баков и ампул (модулей) нейтронного источника и ловушки пучка. 8. Протонные пучки. 9. Разборная защита. 10. Бетонная защита. 11. Помещение и оборудование специальной вентиляции. 12. Оборудование первого контура охлаждения. 13. Широкоапертурный канал. 14. Шибер широкоапертурного канала. А. ДИАС дифрактометрическая установка. В. МНС многофункциональный спектрометр.



Дифрактометрическая установка ДИАС

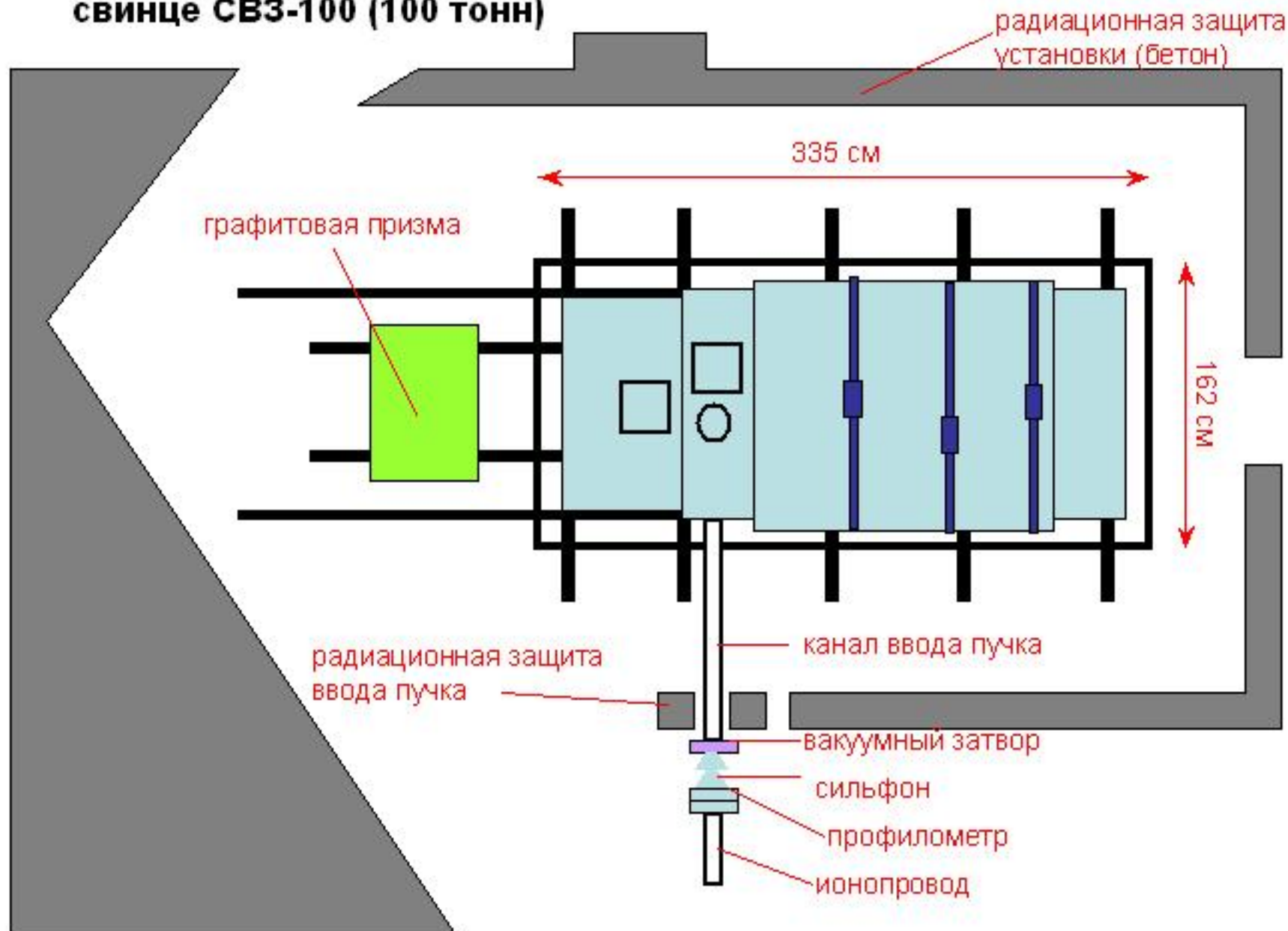
1. Биологическая защита источника нейтронов. 2. Нейтронный канал. 3. Внутриканальный коллиматор. 4. Кварцевый фильтр. 5. Криостат. 6. Блок мониторов. 7. Лавсановая пленка. 8. Счетчики. 9. Коллиматор. 10. Корпус с защитой. 11. Дифрактометр обратного рассеяния. 12. Пакет счетчиков. 13. Дифрактометры. 14. Кадмиевые коллиматоры. 15. Счетчики. 16. Держатель образца. 17. Спектрометр. 18. Кристалл-анализатор. 19. Бериллиевый фильтр. 20. Счетчики. 21. Датчик прямого пучка. 22. Выходное окно. 23. Ловушка пучка. 24. Платформа.



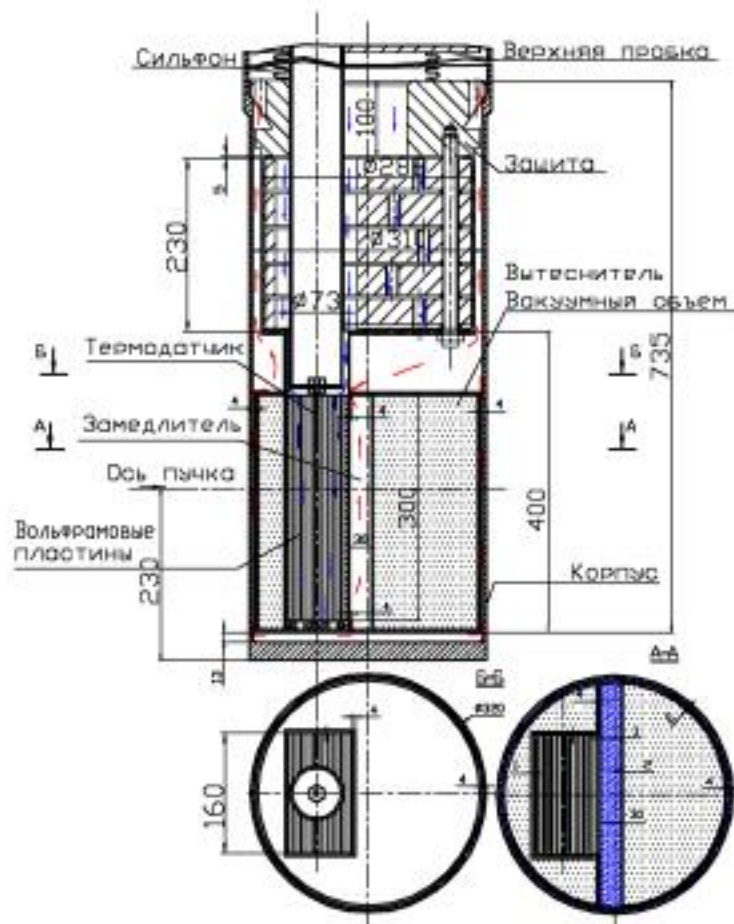
Многофункциональный нейтронный спектрометр

1. Вакуумируемый нейтроновод. 2. Блок сменных коллиматоров. 3. Блок образца. 4. Дифрактометр высокого разрешения. 5. Дифрактометр высокой интенсивности. 6. Спектрометр квазиупругого и неупругого рассеяния высокой интенсивности. 7. Спектрометр квазиупругого и неупругого рассеяния высокого разрешения. 8. Блок малоуглового рассеяния. 9. Дифрактометр монокристаллов. 10. Блок неупругого рассеяния. 11. Бериллиевый фильтр. 12. Монохроматор нейтронов из пиролитического графита

Спектрометр по времени замедления нейтронов в свинце СВЗ-100 (100 тонн)



КОНСТРУКЦИЯ НЕЙТРОННОЙ МИШЕНИ НА ОСНОВЕ ЛОВУШКИ ПРОТОННОГО ПУЧКА «РАДЭКС»



Горизонтальные времяпролетные каналы нейтронного спектрометра «ТРОНС».

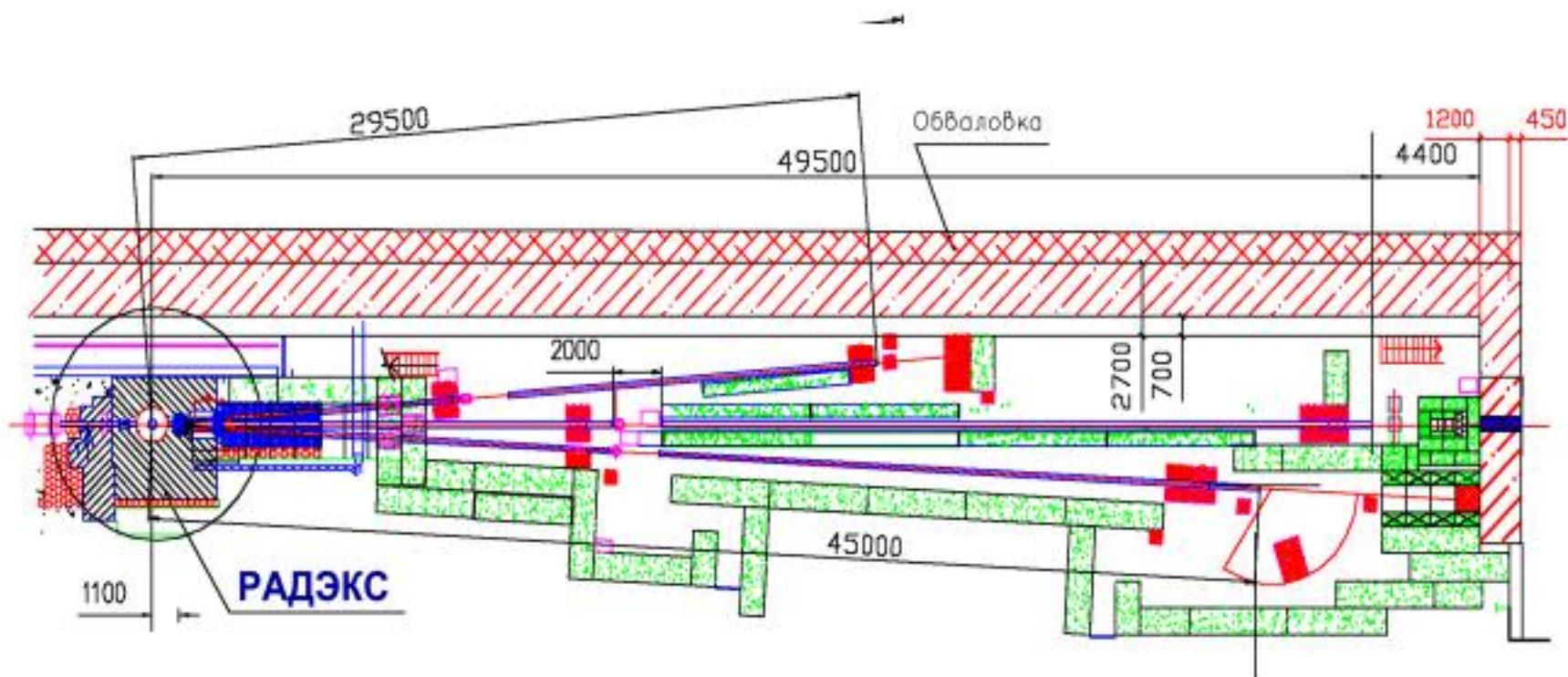
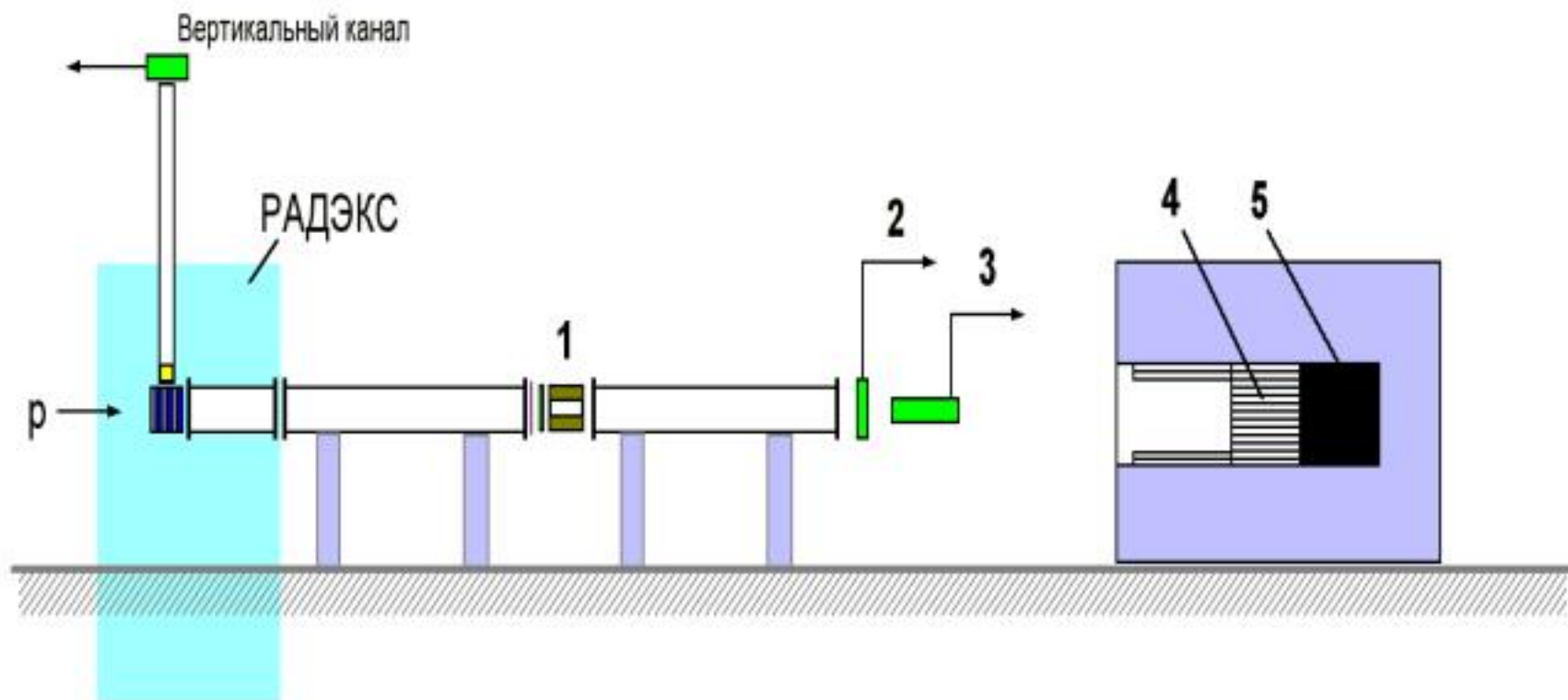


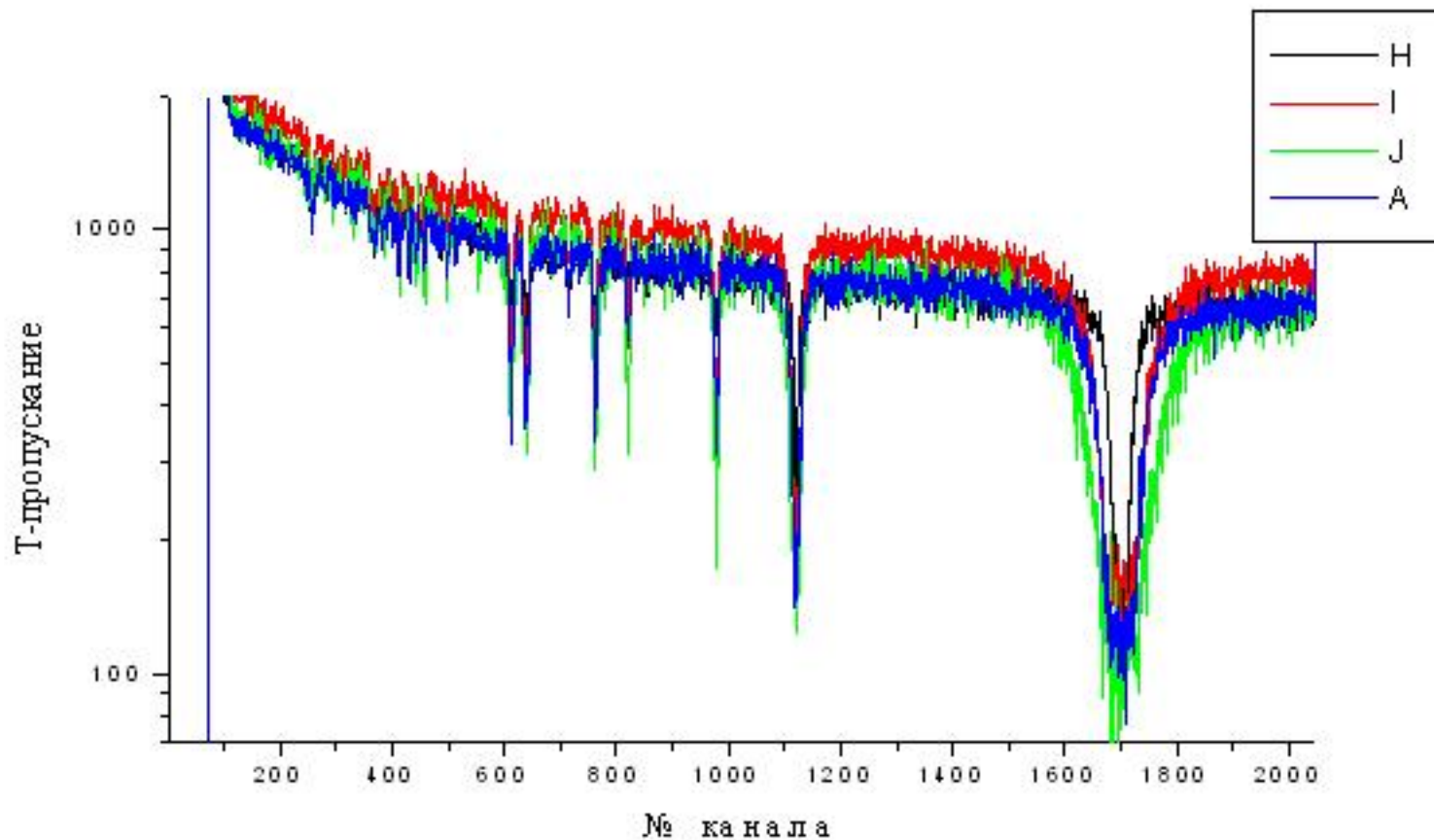
СХЕМА ИЗМЕРЕНИЯ НЕЙТРОННЫХ ПОТОКОВ



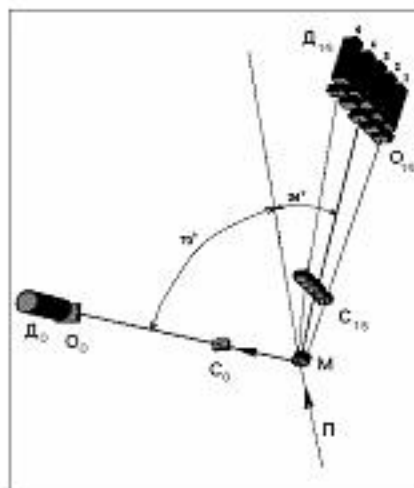
ТЕСТОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ РАДИАЦИОННОГО ЗАХВАТА



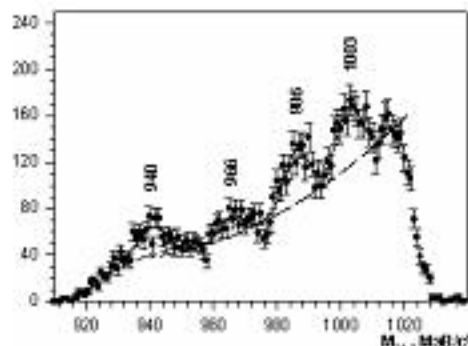
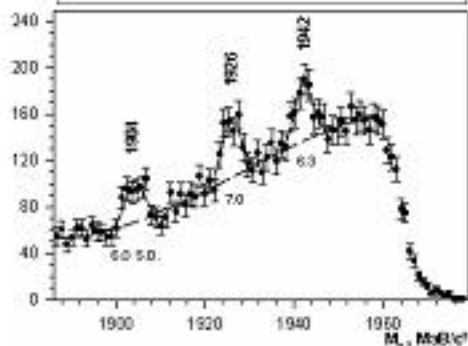
Измерения пропускания 4-х образцов Та-181 (t=20 мин)



Исследование рождения сверхтяжелых дибарионов (СУД) в реакции $pd \rightarrow pX$ на протонном пучке Московской мезонной фабрики Института ядерных исследований РАН.



На двухплечевом спектрометре TAMS ведется поиск СУД распад которых на два нуклона запрещен принципом Паули. Такие дибарионы с массой $M < 2m_p + m_n$, могут распадаться только испуская γ -квант, поэтому их ширины распада $\ll 1$ кэВ.

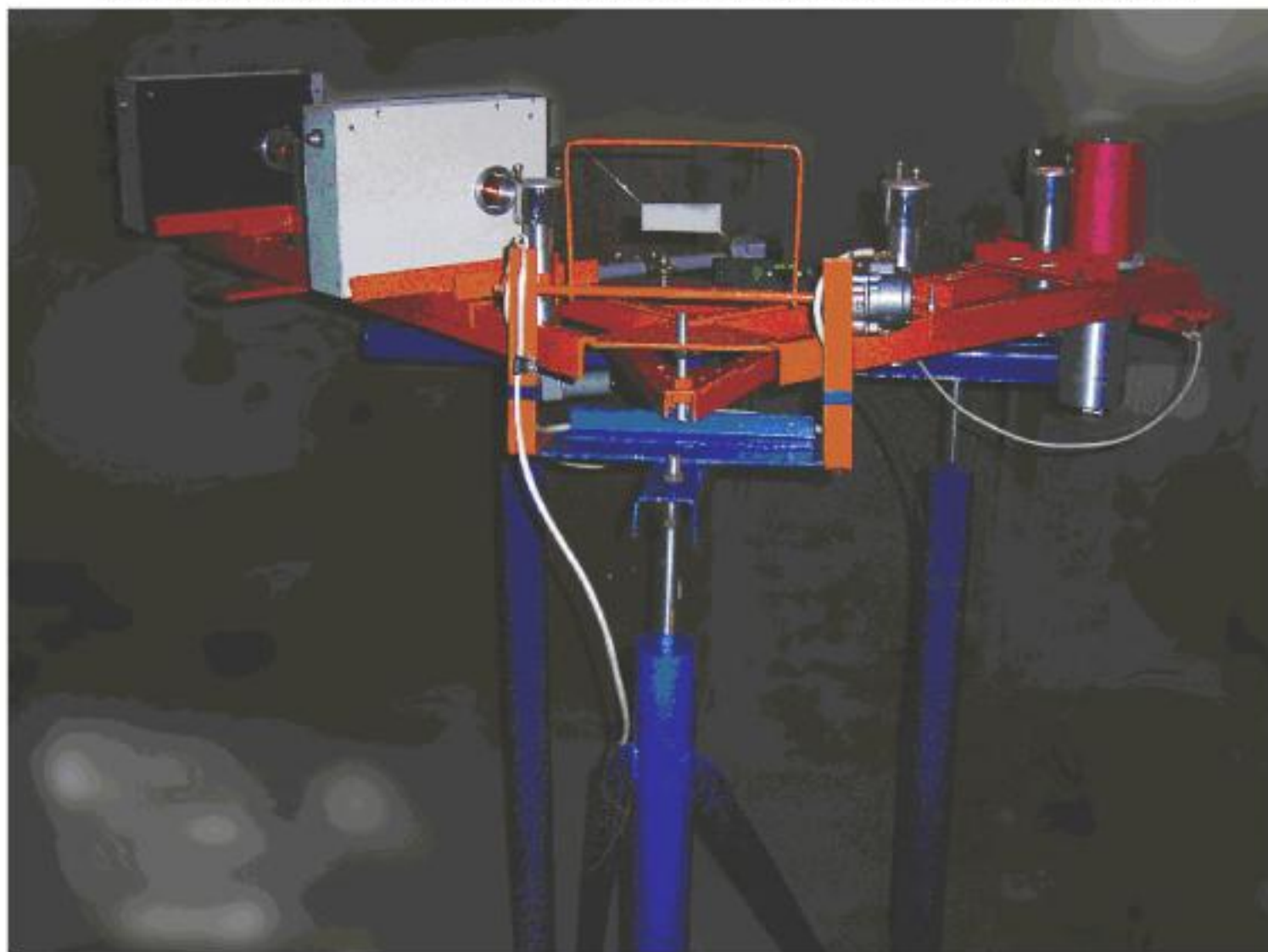


- $pd \rightarrow p + X$ – пики при $M_X = 1904, 1926$ и 1942 MeV/c^2
- узкий угловой конус частиц от распада X
- $pd \rightarrow pp + X$ – пики при $M_X = 966, 986$ и 1003 MeV/c^2

Все это позволяет предположить что наблюдаемые состояния являются Сверхтяжелыми Дибарионами, распад которых на два нуклона запрещен принципом Паули

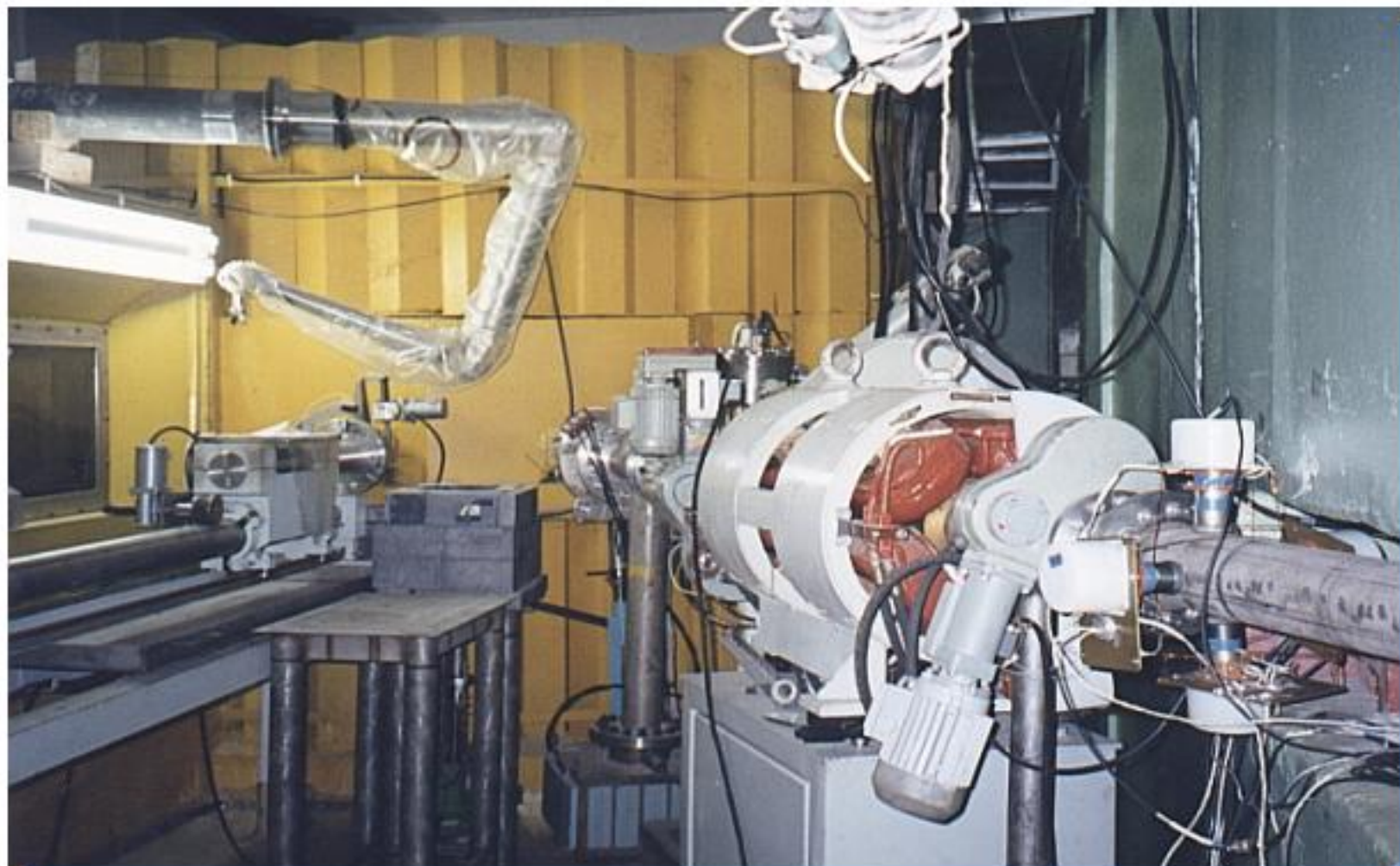
Установка для измерения энергии первичного пучка протонов Комплекса протонной терапии ММФ

(энергия пучка определяется как сумма энергий двух зарегистрированных протонов в реакции упругого рассеяния протона на водородосодержащей мишени)



Производство радиоизотопов

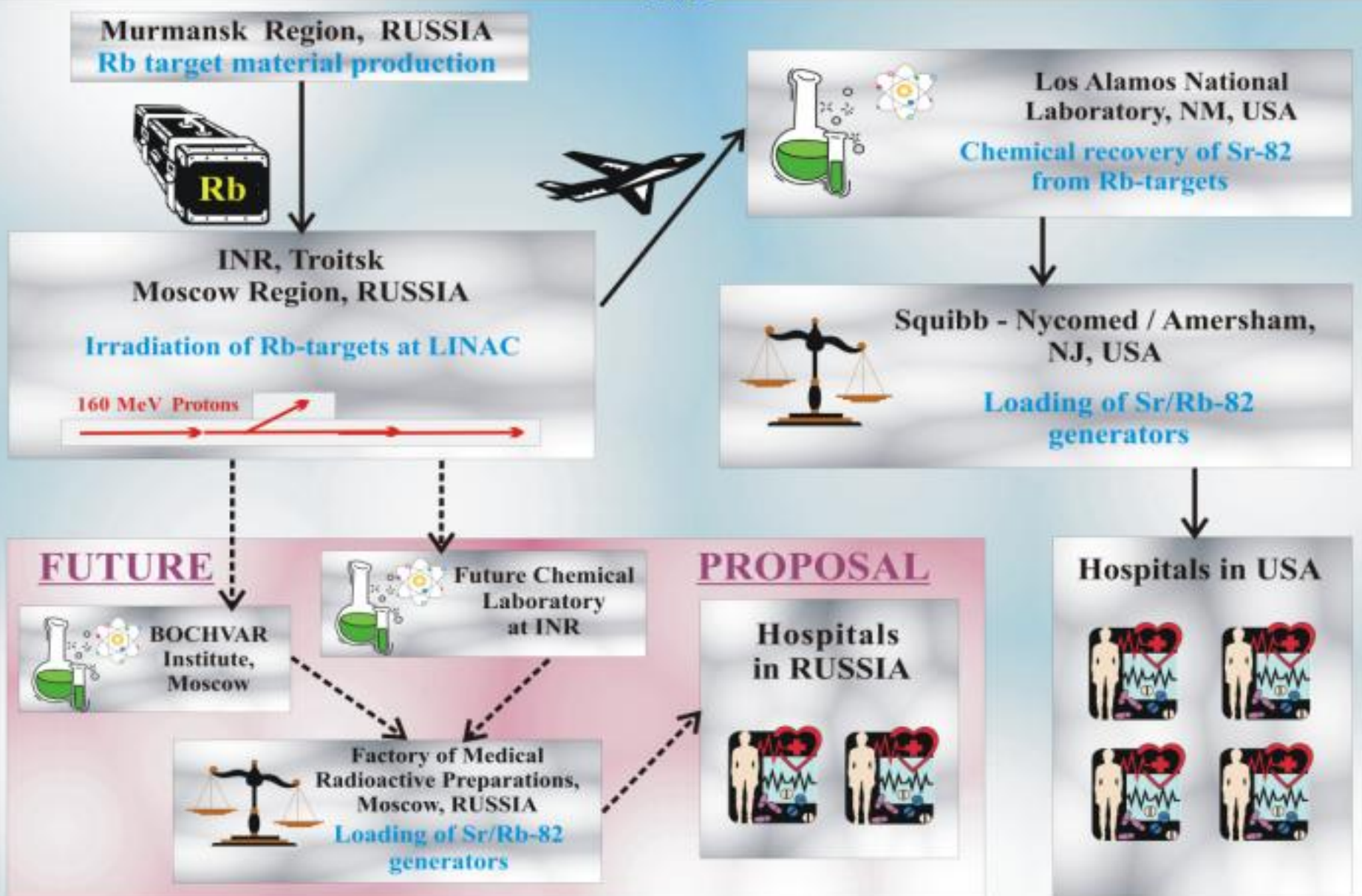
ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЧАСТЬ УСТАНОВКИ ПО ОБЛУЧЕНИЮ МИШЕНЕЙ И ПОЛУЧЕНИЮ РАДИОИЗОТОПОВ НА ПУЧКЕ УСКОРИТЕЛЯ ИЯИ РАН



ВОЗМОЖНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА НЕКОТОРЫХ РАДИОНУКЛИДОВ НА УСКОРИТЕЛЕ ИЯИ РАН В г. ТРОИЦКЕ

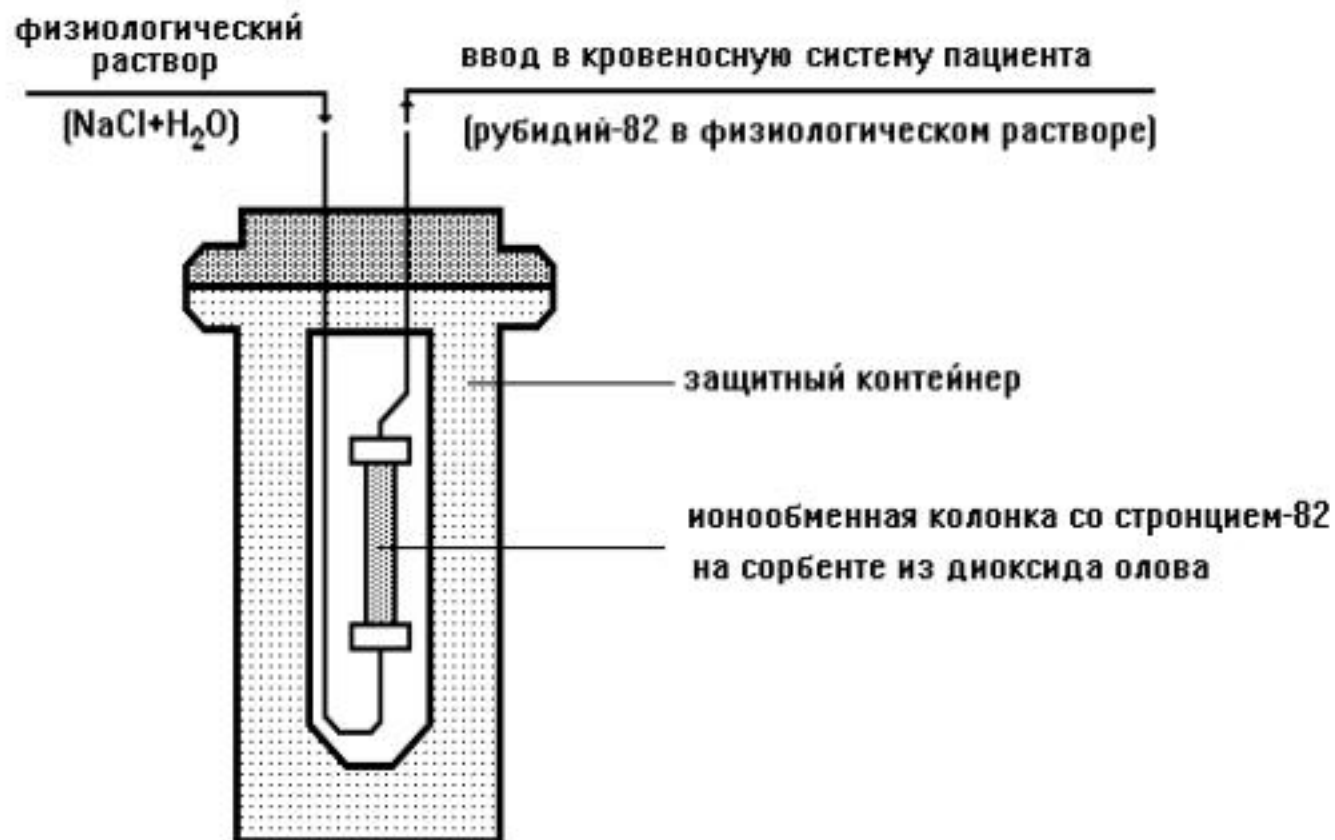
Радионуклид	Возможное годовое производство Кюри / год	Оценка мирового потребления	Применение
Sr-82	30	30	ПЭТ - томография: кардиология, диагностика кровеносной системы
Pd-103	500	3000	Терапия простаты, включая онкологические заболевания
Ge-68	4	7	Калибровка позитронно-эмиссионных томографов
Se-72	30	?	ПЭТ – томография перед терапией раковых заболеваний
Cu-67, 64	300	3000	Терапия и диагностика раковых заболеваний "in vivo"
Sn-117m	30	?	Терапия костных заболеваний
Tl-201	200	5000	Кардиологическая диагностика
I-123	200	3000	Диагностика заболеваний почек, желез, мозга и т.д.

Схема получения и применения стронция-82



ГЕНЕРАТОР СТРОНЦИЙ/РУБИДИЙ-82

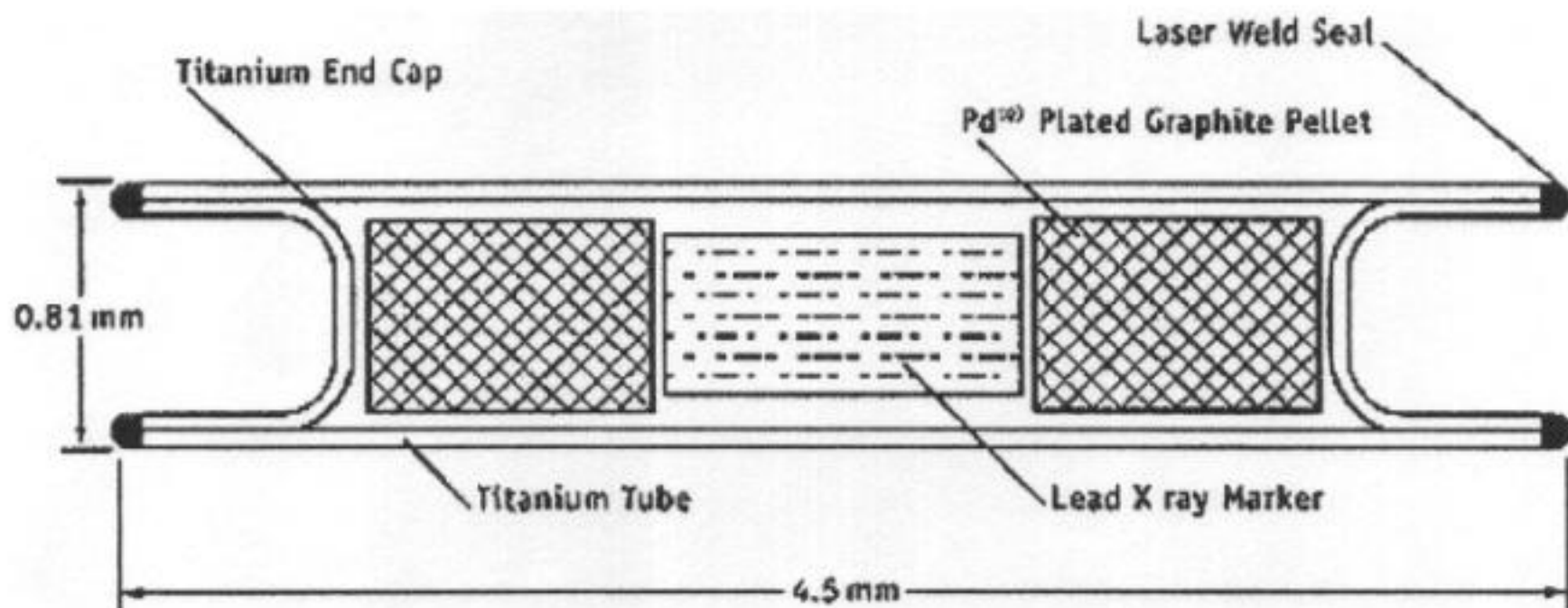
[СОВМЕСТНАЯ РОССИЙСКО-КАНАДСКАЯ РАЗРАБОТКА]



Генератор Sr/Rb-82, изготовленный ИЯИ РАН, заряжается на заводе «Медрадиопрепарат» Минздрава



Источник палладия-103 фирмы «Theragenics» для терапии простаты



Комплекс лучевой терапии ИЯИ РАН

Основная задача:

облучение злокачественных опухолей протонами самостоятельно или в сочетании с облучением фотонами.

Базовые установки:

- линейный ускоритель протонов ММФ ИЯИ (энергия 74 – 247 МэВ),**
- медицинский линейный ускоритель электронов СЛ-75-5-МТ (энергия электронов 6 МэВ).**

В состав Комплекса также входят:

- канал транспортировки протонов,**
- 2 камеры облучения (протонами и фотонами),**
- амбулатория на 30-40 пациентов в день.**

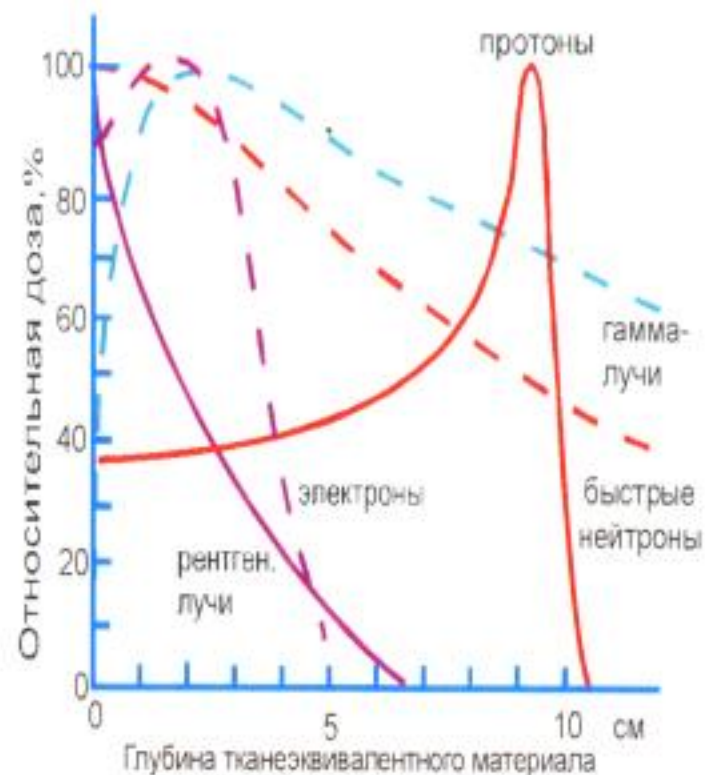
Преимущества использования протонов для облучения опухолей

Конформность облучения

протонами позволяет разрушить опухоль без повреждения здоровых тканей.

Протонная (адронная) терапия не имеет альтернативы, если опухоль находится вблизи критических органов.

Протоны обеспечивают снижение лучевой нагрузки на здоровые ткани минимум в 2 раза .



Глубинные дозные распределения излучений, используемых в лучевой терапии

Линейный ускоритель протонов ММФ ИЯИ РАН

Сравнение с другими российскими ускорителями, используемыми для протонной терапии, показывает его преимущество для развития новых методов облучения (сканирование пучка, вращение пучка в гантри и др.)

параметры ускорителя	ИЯИ	ИТЭФ	ОИЯИ	ПИЯФ
энергия	74– 247 МэВ,	70- 200 МэВ,	660 МэВ	1000 МэВ
частота импульсов	50 Гц	менее 1 Гц	250 Гц	40 Гц
длительн. импульсов	до 180 нс	0,14 нс	30 нс	300 нс
средний ток	1 нА - 1 мкА	1 мкА	1 мкА	1 нА

Медицинский линейный ускоритель электронов СЛ-75-5-МТ (в стадии

- максимальная энергия фотонов – 6 МВ,
- максимальная мощность дозы в изоцентре – 5 Гр/мин,
- макс. поле – 40x40см,
- режим работы – 2x6ч. (5 дней в неделю),
- пропускная способность до 50 человек в день.



Канал транспортировки протонов:

- Длина канала – 180 м,**
- Количество фокусирующих линз – 24,**
- Количество поворотных магнитов – 11,**
- Количество профилометров сильноточных – 14,**
- Количество профилометров слаботочных – 2,**
- Количество магнитоиндукционных датчиков – 4,**
- Вакуум – 10(-5) Тор**



Амбулатория в Экспериментальном комплексе ИЯИ РАН:

Пропускная способность-

30-50 пациентов в день.

Количество рабочих мест – 12-15.

Площадь помещений (с
кондиционированием воздуха)-
400 м².

Возможность увеличения еще на
150 м² (для томографа и
контактной радиотерапии).



Специальное оборудование для камеры облучения протонами:

1. Входной коллиматор (толщина металла более 1м, испытан);
2. Кресло – стол для протонной терапии (конструируется);
3. Система компьютерного планирования (протоны+фотоны, в стадии разработки);
4. Цифровая система рентгеновской центрации (3 трубки, конструируется);
5. Система лазерной центрации (6 лазеров, спроектирована и изготавливается);
6. Оптическая скамья с каретками (конструируется);
7. Монитор отпуска дозы с профилометром (испытан);
8. Фантом твердотельный (частично изготовлен);
9. Система индивидуального формирования пучка (2005);
10. Система индивидуальных дозиметров (испытана).

Медицинская программа:

Примеры локализаций облучаемых опухолей:

1. Глаз (протоны, кресло),
2. Головной мозг, гипофиз, рото-носо-гортаноглотка (фотоны + протоны, кресло+стол),
3. Предстательная железа, матка (фотоны+протоны, стол),
4. Кишечник (фотоны + протоны, стол),
5. Конечности (фотоны+ протоны, стол).
6. Легкие (фотоны + протоны, стол).

Возможные дозы для сочетанного облучения:

1. Опухоли гол. мозга (фотоны 40 Гр + протоны 15 Гр).
2. Опухоли гипофиза (фотоны 44 Гр + протоны 15 Гр).
3. Метастазы гол. мозга (фотоны 40 Гр + протоны 14 Гр).
4. Рак рото- носо- гортаноглотки (фотоны 48 Гр + протоны 16 Гр).
5. Рак решетчатого лабиринта (фотоны 50 Гр + протоны 16 Гр).

Перспективы развития Комплекса:

- 1) Использование пучка ионов Н- позволит одновременно наработывать изотопы и проводить протонную терапию.
- 2) 2-ая очередь Комплекса.
 1. Камера облучения вертикальным пучком протонов.
 2. Контактная лучевая терапия с изотопами собственного производства.
 3. Исследования по радиобиологии с протонами и фотонами.
- 3) 3-я очередь Комплекса.
 1. Камера облучения с системой Гантри.
 2. Ускоритель электронов на 20 МэВ.
 3. Радиофармпрепараты с изотопами собственного производства.
 4. ПЭТ с изотопами собственного производства.

Вывод: возможность создания в Троицке универсального онко-радиологического Центра