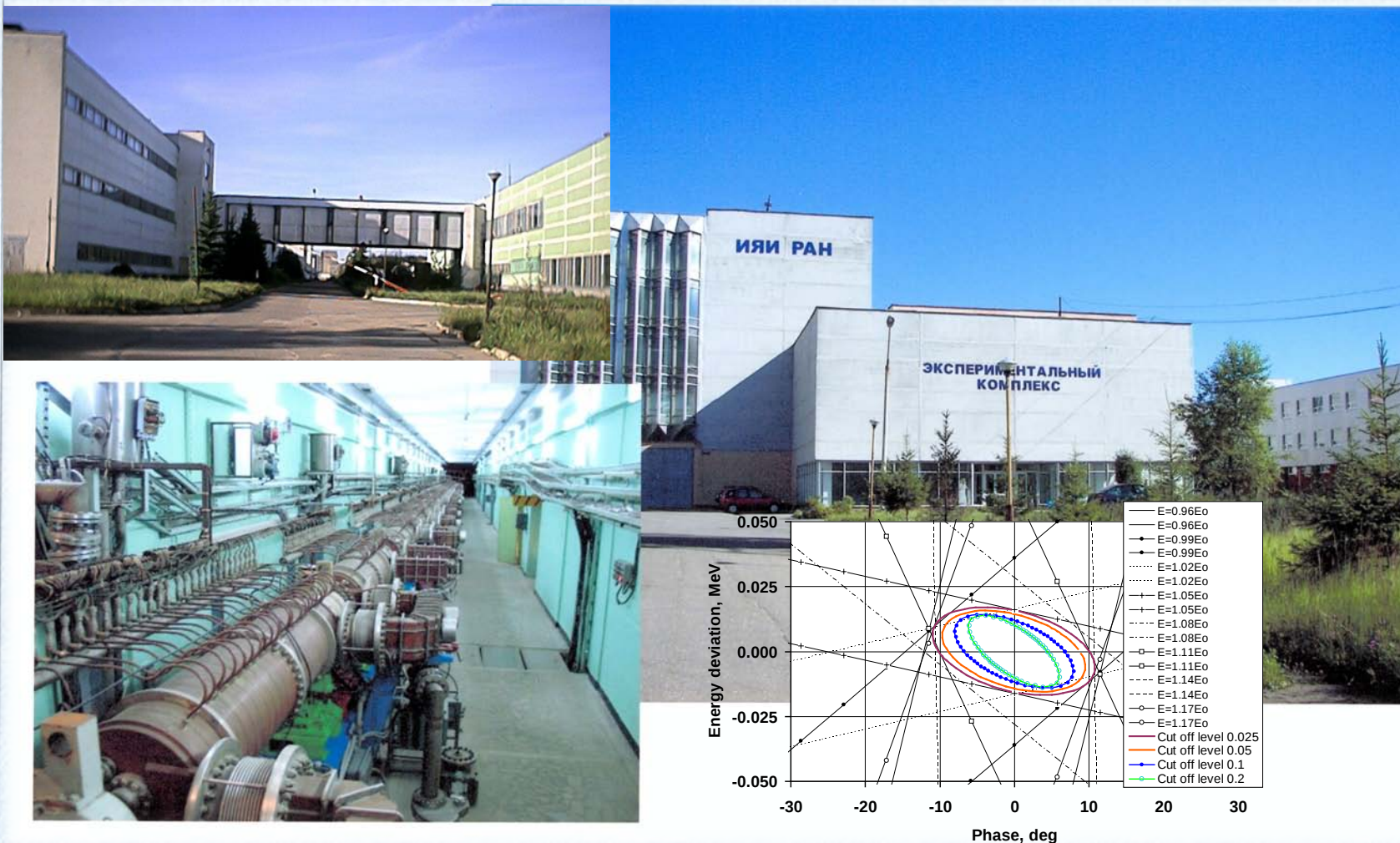


Многоцелевой комплекс на базе сильноточного линейного ускорителя ионов водорода ИЯИ РАН



Сильноточные линейные ускорители протонов

LINAC	Pulse length(ms)	Rep. rate(Hz)	Pulse curr.(mA)	Av. current (mA)	Energy (MeV)	Power (MW)
LANSCCE	0,625	60	16	1,0	800	0,8
INR	0,1	100	50	0,5	600	0,3
SNS	1,0	60	38	1,4	1000	1,4
J-PARC	0,5	25	50	1,25	400/600	1,0(RCS)
ESS- Scandinav	1,2	50	107	3,85	1300 (2500)	5,0
CERNSPL LINAC 4	0,4	50	40	1,0 0,1	3500-5000 160	4,0
FNAL Project X		CW 4% duty	10	1,0	3000 - - 8000	MF, KF 2,0 nu
PEFP	1,33	60	20	1,0	100/1000	0,9
C SNS	0,2	25	15/30/40	76/151/315	81/132/230	0,5(RCS)
ADS EU,USA, Japan, Korea, Ind.	--	CW	10 - 20	10 - 20	600 -1000	~10 ÷ ÷100

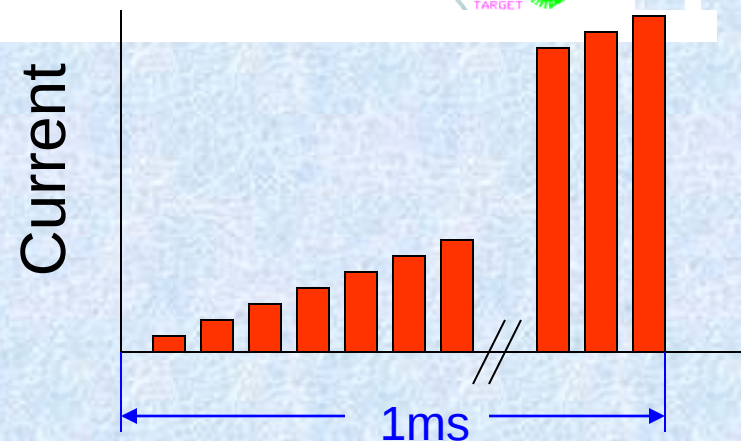
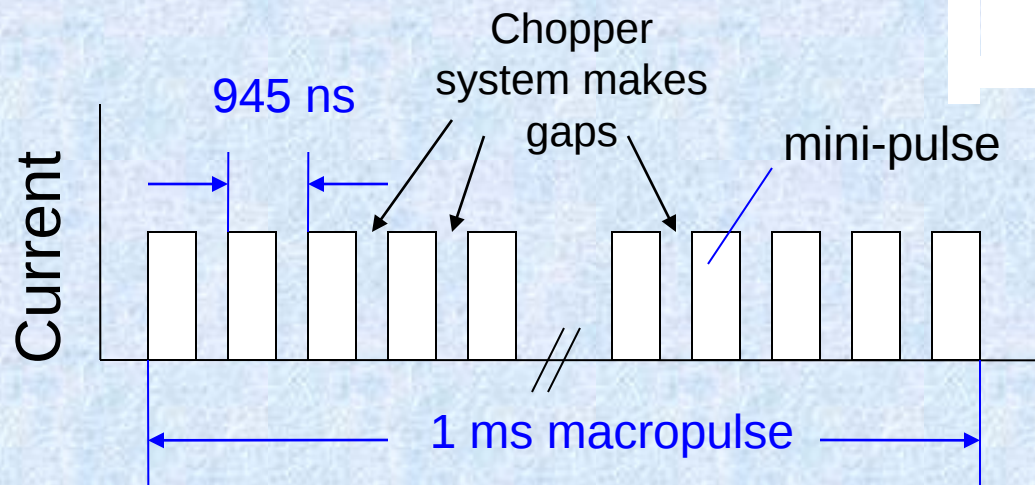
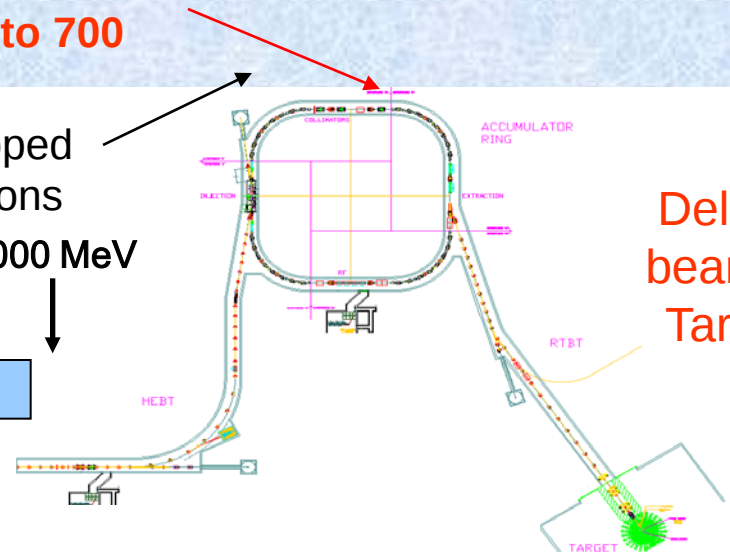
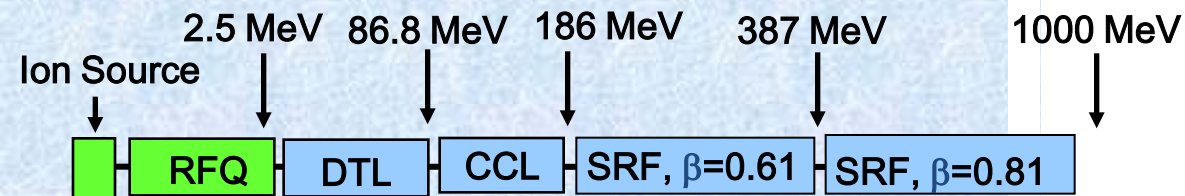
SNS Accelerator Complex

Front-End:
Produce a 1-
msec long,
chopped,
low-energy
H- beam

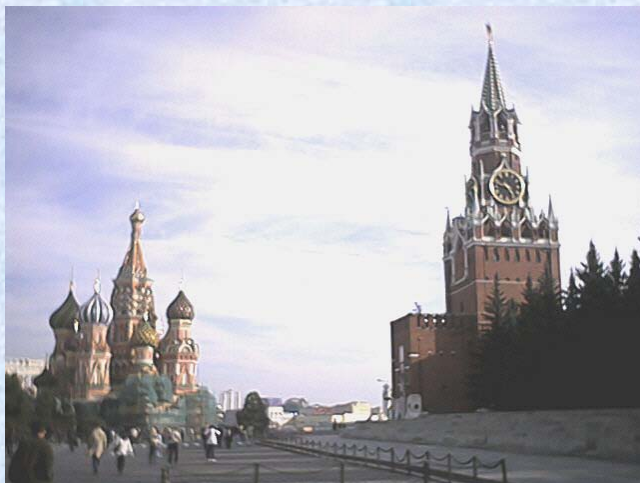
LINAC:
Accelerate
the beam to
1 GeV

Accumulator Ring:
Compress 1 msec
long pulse to 700
nsec

Deliver
beam to
Target



Москва



Троицк



20 км

Линейный ускоритель



1 км

1970 год – Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР о создании ИЯИ АН СССР и сооружении линейного ускорителя в г.Троицке.

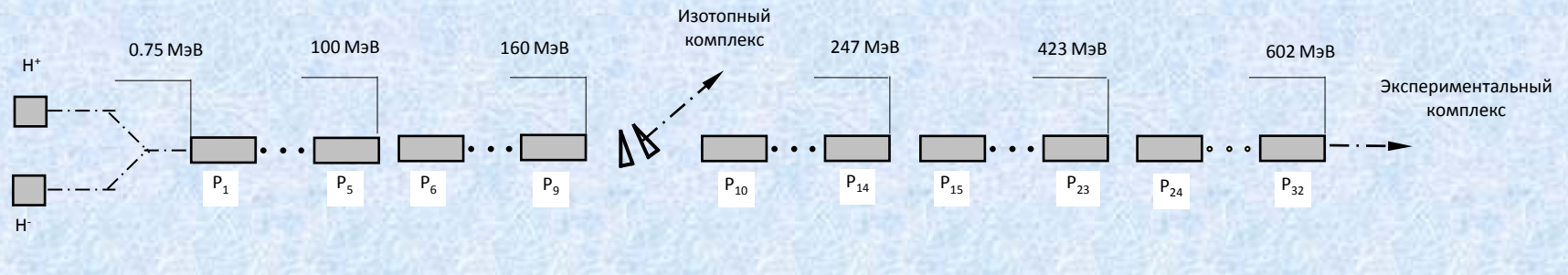


Основные участники сооружения линейного ускорителя ИЯИ РАН

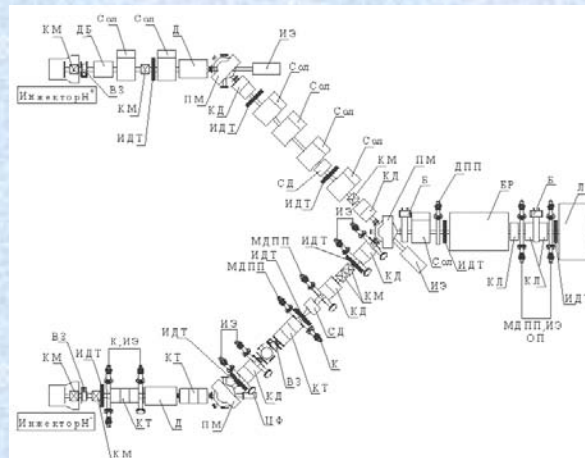
- ИЯИ АН СССР
- Московский Радиотехнический институт
- Государственный Союзный проектный институт Минсредмаша
- НИИЭФА им.Ефремова Минсредмаша – инжектор ионов, система инжекции, трубки дрейфа и фокусирующие дублеты с системами питания
- ВНИПИ ТПЭП – проект электрической части
- НИИ «Титан» Минэлектронпрома – мощные клистроны на частоте 991 МГц
- НПО «Светлана» Минэлектронпрома – мощные усилительные модуляторные лампы
- МИИГАИК – обеспечение работ по высокоточной геодезии
- Трест № 1 Минсредмаша – монтаж технологического оборудования
- Тамбовский завод «Комсомолец» Минхимпрома – изготовление ускоряющих резонаторов начальной части ускорителя
- Днепровский завод Минрадиопрома – система ВЧ питания ускорителя
- Гомельский радиозавод Минрадиопрома – модуляторы начальной части ускорителя и волноводы

А также ряд других научных организаций и промышленных предприятий СССР

Линейный ускоритель ионов водорода



Инжектор протонов



Инжекционный тракт



Начальная часть ЛУ (100 МэВ)



20 МэВ

49 МэВ

74 МэВ

94 МэВ

100 МэВ

Рез. 1

Рез. 2

Рез. 3

Рез. 4

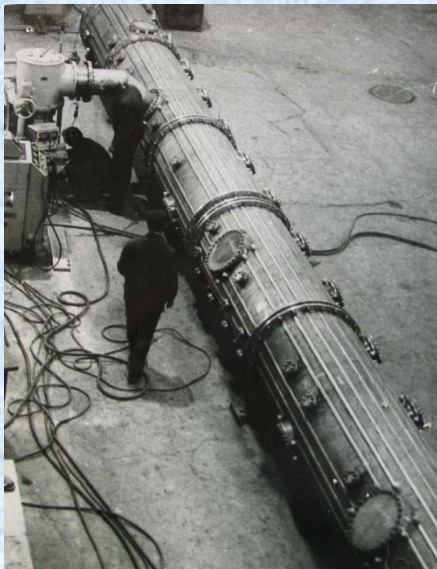
Рез. 5



5 резонаторов с трубками
дрейфа

Частота - 198,2 МГц

Выходная энергия - 100 МэВ



Резонатор на
тамбовском заводе
«Комсомолец»



Госкомиссия по приемке резонаторов на заводе



Загрузка в тоннель
ускорителя





**Трубки дрейфа на
заводе ЛЭЗ**



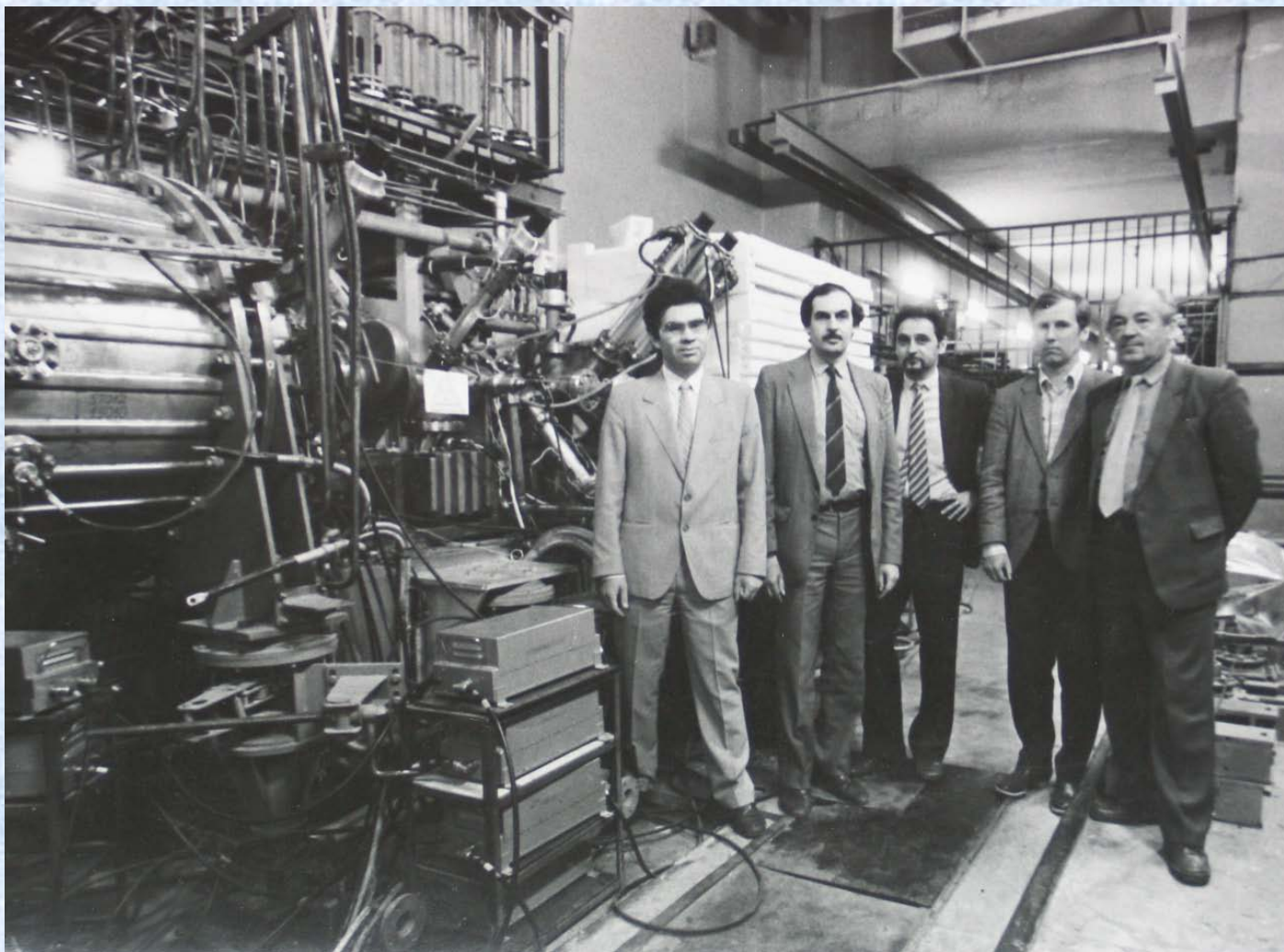
**Монтаж трубок
дрейфа**



**Внутри резонатора
№1 после окончания
радиотехнической
настройки**



Внутри резонатора №2. Сентябрь 2007г.



После запуска начальной части ускорителя (фотография из статьи в CERN Courier)

Основная часть ускорителя (100-600 МэВ)

27 четырехсекционных резонаторов с шайбами и диафрагмами,
частота 991 МГц.



Ускоряющие резонаторы основной
части ускорителя



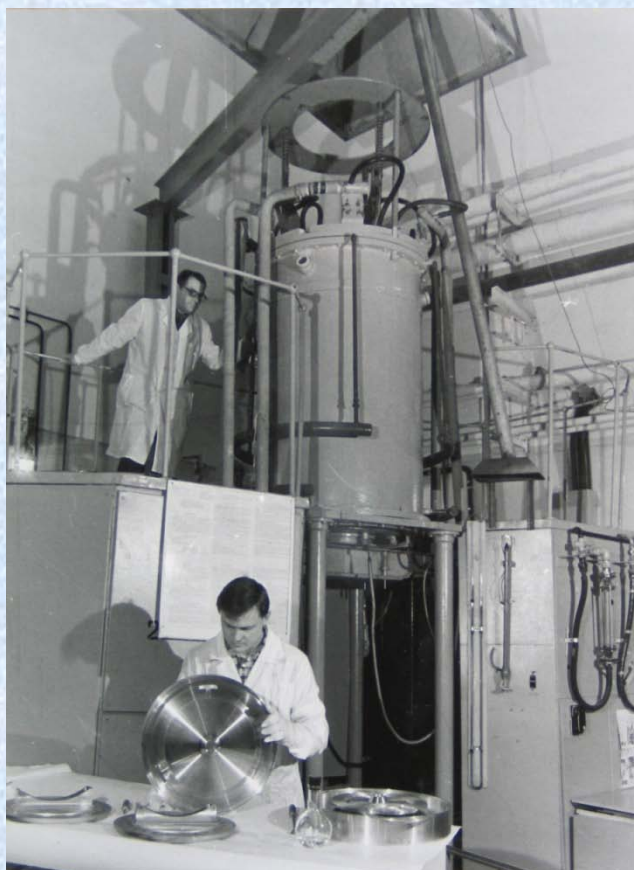
Галерея ВЧ питания основной части
ускорителя



Механическая обработка



Контроль качества



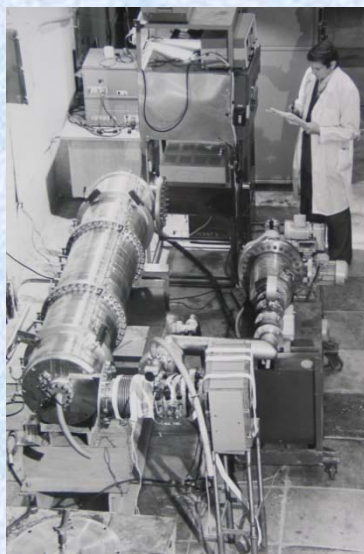
Участок водородных печей



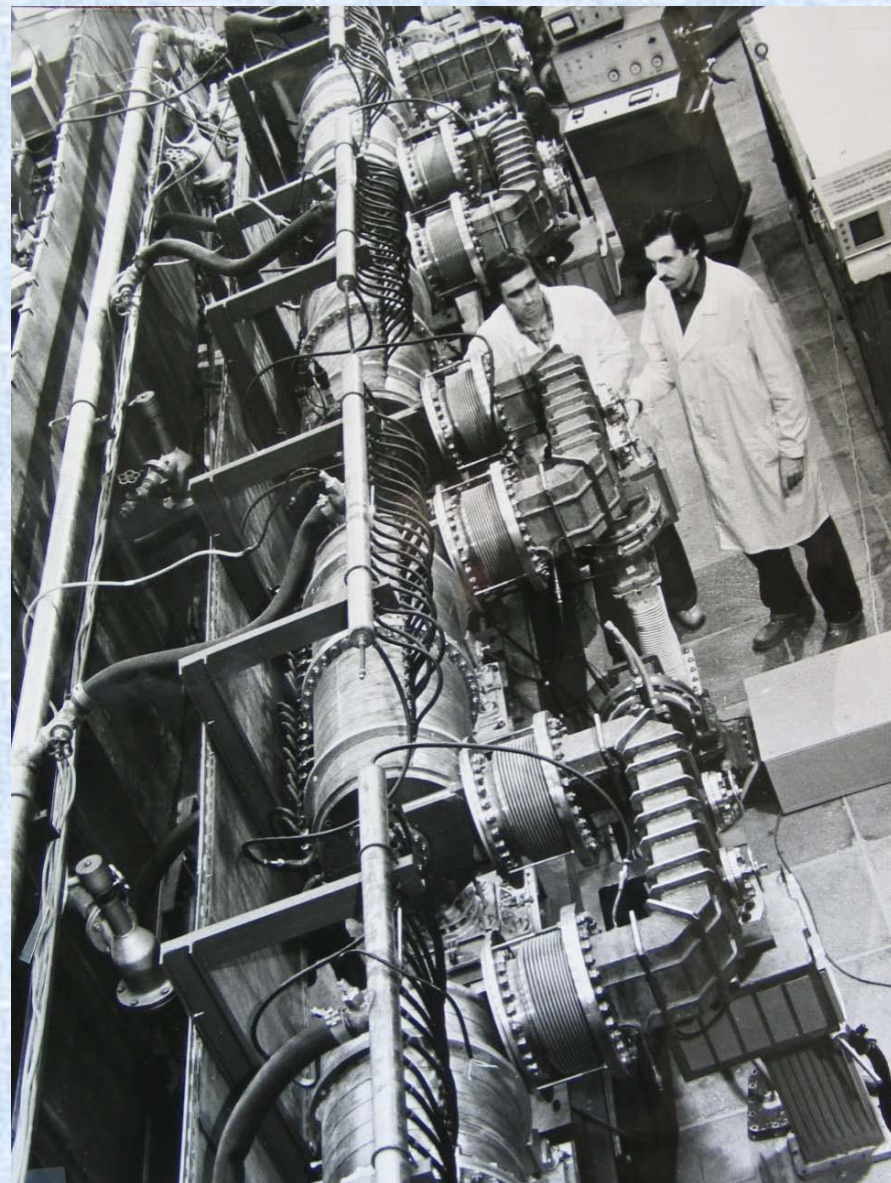
Модуль ускоряющей структуры



Сборка секции перед пайкой

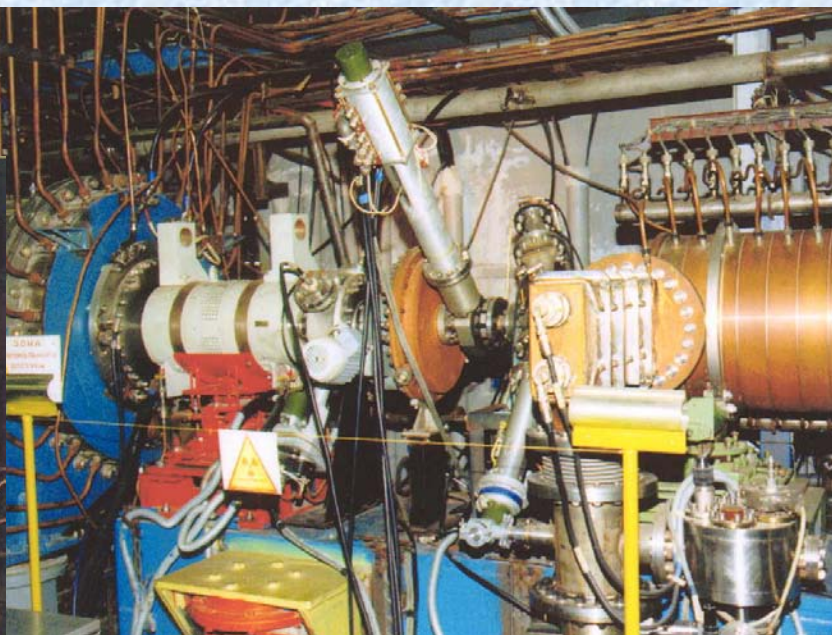
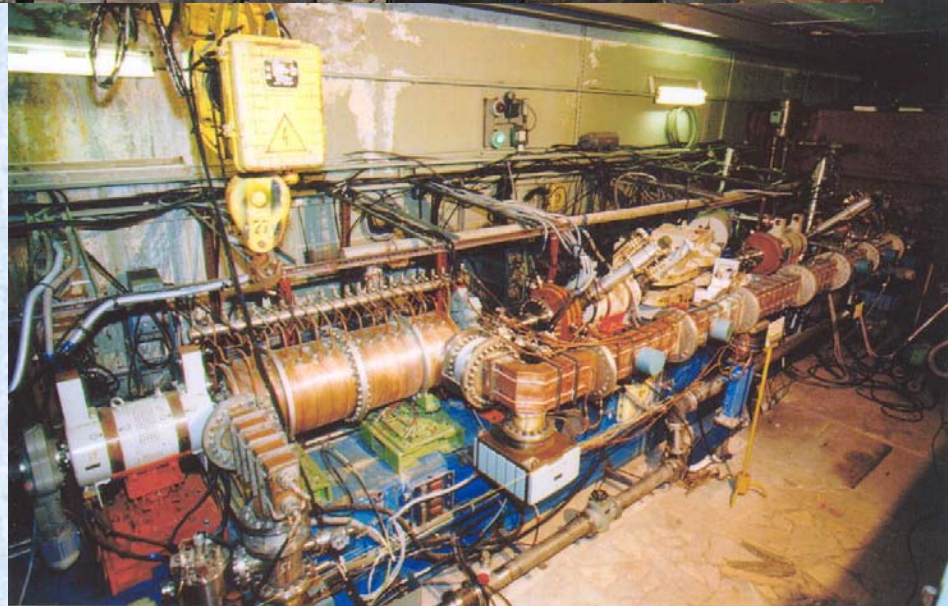


**Вакуумные
испытания
секции**



Испытания первого резонатора на стенде

Руководство ОУК С.К.Есин –
зав.Отделом с 1973 по 1998 гг.,
В.Л.Серов – гл. инженер с 1972
г., А.В.Фещенко – зав. Отделом
с 2001 г.





**Группа лауреатов в доме Правительства Российской Федерации после вручения Премии (Слева направо
А.П.Федотов, Е.Д.Лебедев, С.К.Есин, В.А.Матвеев, Б.И.Бондарев, А.Н.Тавхелидзе, Н.И.Уксусов,
Л.В.Кравчук, О.Д.Пронин, В.Л.Серов)**

Параметры ускорителя

Параметр	Проект	Достигнуто	Состояние на февраль 2012 г.
Ускоряемые частицы	H^+ , H^-	H^+	H^+
Энергия, МэВ	600	502	209 (267)
Импульсный ток, мА	50	16	12
Частота повторения, Гц	100	50	50
Длительность импульса, мкс	100	200	0,28...200
Средний ток, мкА	500	150	120

Работа ускорителя

1993 год - Начало регулярной работы на физические и прикладные задачи

С **1993** по **февраль 2012** г проведено **100 (!)** сеансов общей продолжительностью около **37000** часов

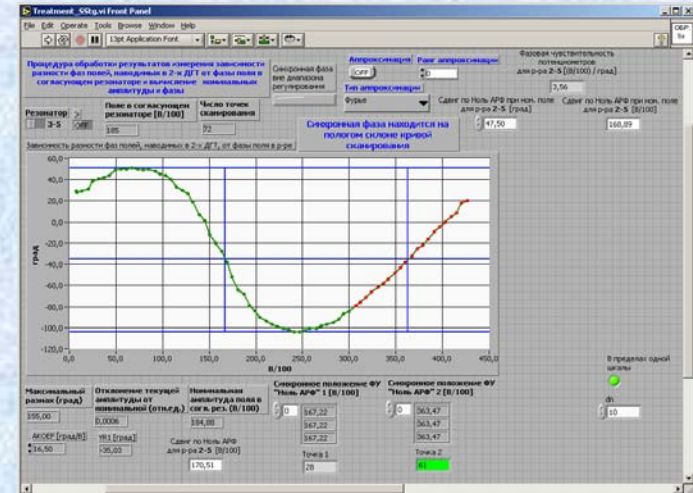
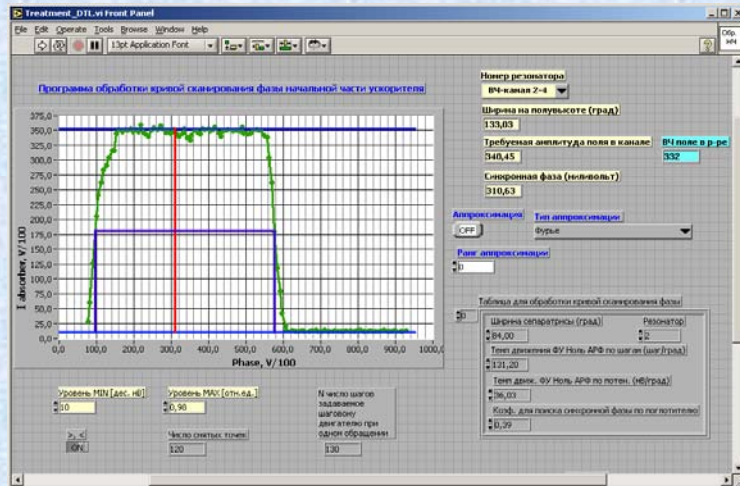
В том числе:

- 2003** год – **2400** часов (7 сеансов);
- 2004** год – **2200** часов (7 сеансов);
- 2005** год – **1900** часов (6 сеансов);
- 2006** год – **2250** часов (7 сеансов);
- 2007** год – **2050** часов (7 сеансов);
- 2008** год – **1300** часов (5 сеансов);
- 2009** год – **1200** часов (6 сеансов);
- 2010** год – **1700** часов (7 сеансов);
- 2011** год – **1630** часов (5 сеансов);
- 2012** год - **330** часов (1 сеанс...

Основные потребители пучка

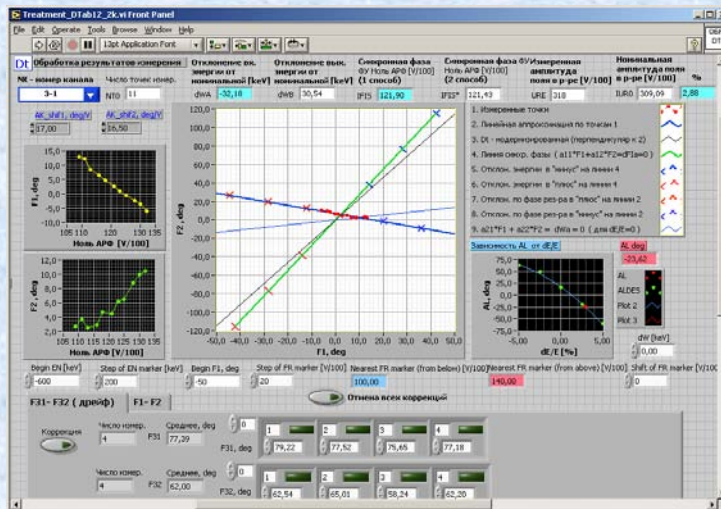
1. **Нейтронный комплекс**
2. **Радиоизотопный комплекс**
3. **Комплекс протонной терапии**

Примеры реализации процедур настройки ускорителя – доклад А.В.Фещенко

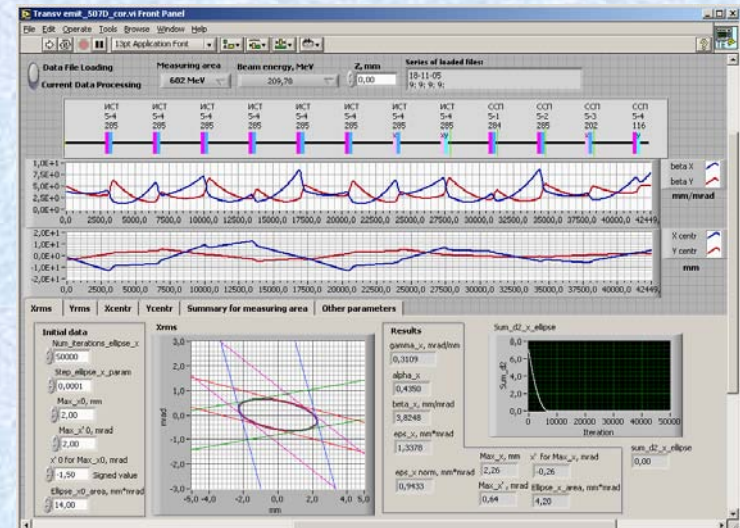


Определение параметров ускоряющих полей в резонаторах начальной части методом фазового сканирования

Определение параметров полей в согласующих резонаторах времяпролетным методом

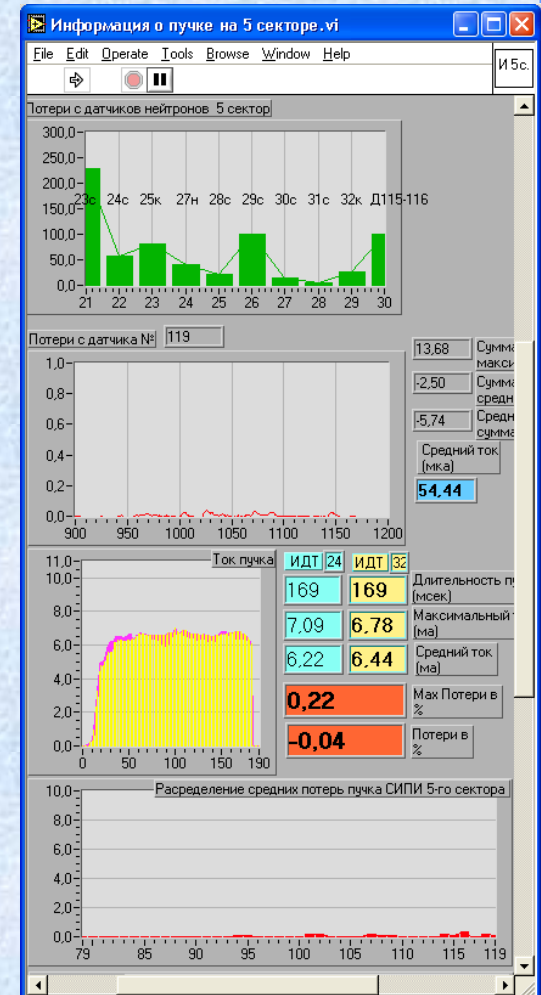
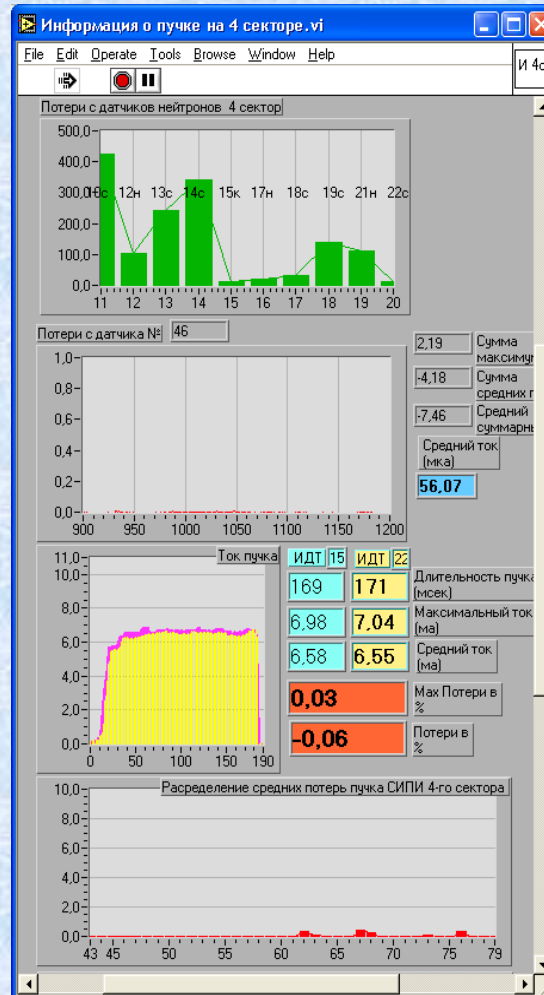
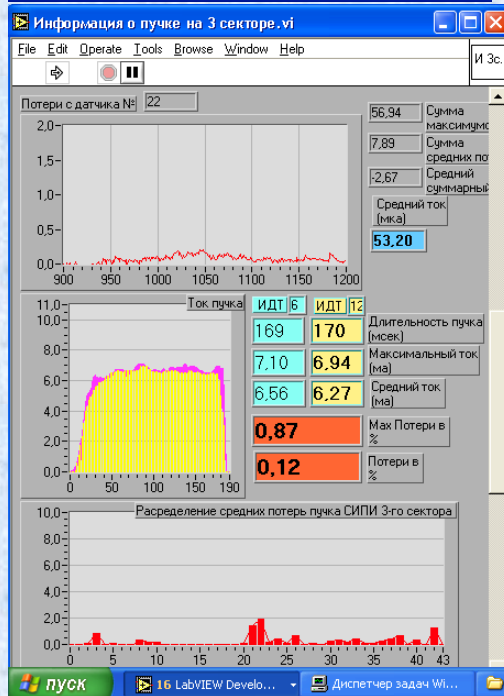
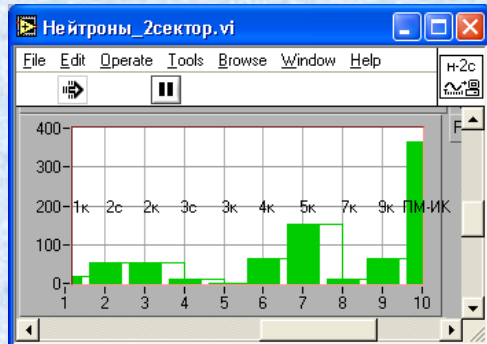


Пример реализации дельта-T процедуры при установке амплитуд и фаз в резонаторах основной части



Пример поперечного согласования и коррекции центра тяжести пучка

Контроль потерь пучка по секторам ускорителя



Ближайшие задачи по ускорителю

- Ввод в регулярную эксплуатацию инжектора и канала транспортировки ионов Н- .
- Освоение режимов ускорения двух пучков – протонов и ионов Н-минус.
- Ввод в регулярную эксплуатацию импульсного магнита на участке промежуточного вывода 160 МэВ. Обеспечение гибкого и оперативного распределения импульсов тока пучка между изотопным и экспериментальным комплексом.
- Реконструкция системы ВЧ питания начальной части ускорителя.
- Удвоение частоты следования импульсов.
- Увеличение энергии по мере поступления клистронов.
- Дальнейшая автоматизация

Экспериментальный комплекс

экскурсия М.И.Грачев

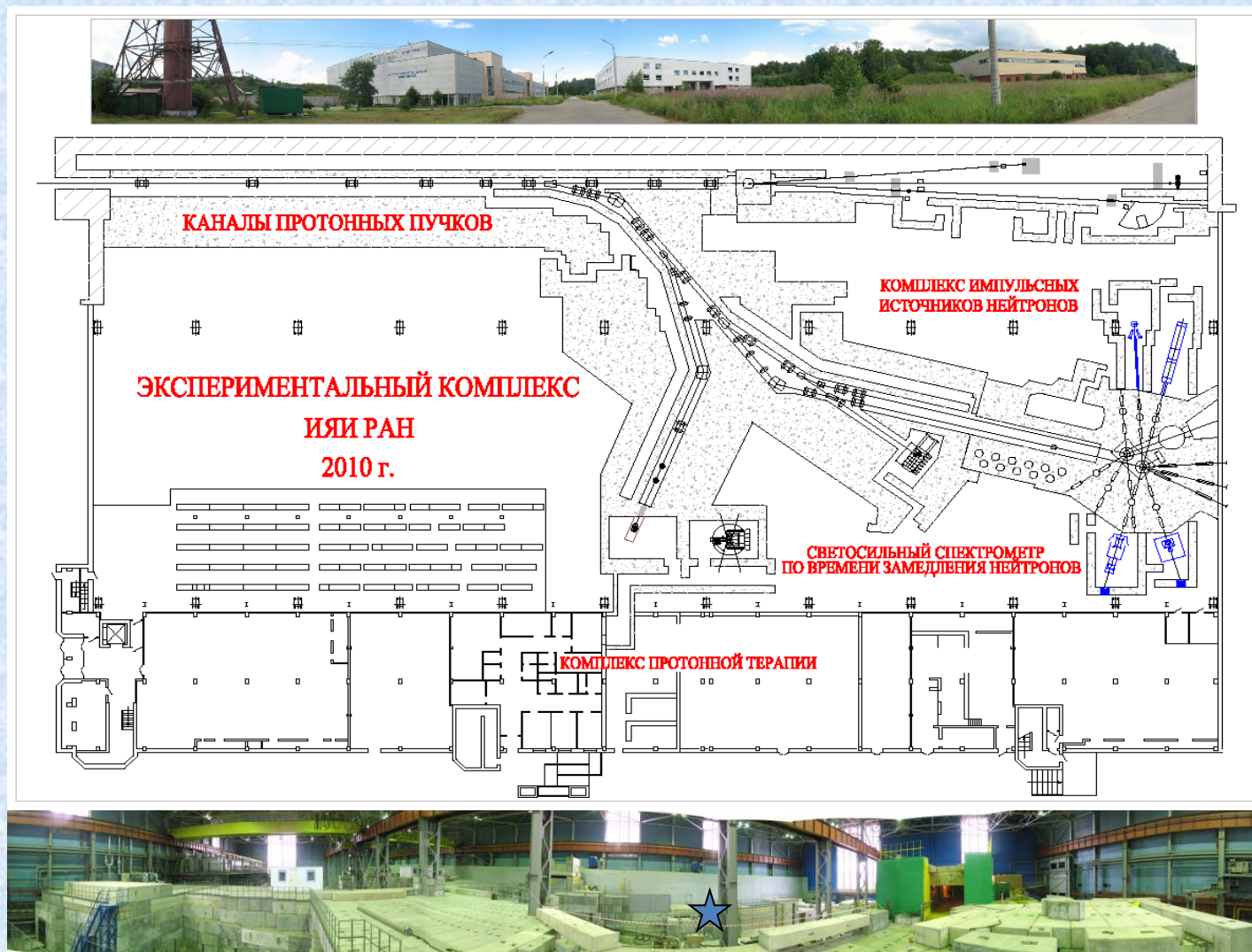


В состав экспериментального комплекса входят следующие установки:

- Каналы протонных пучков.
- Нейтронный комплекс для проведения многоцелевых нейтронных исследований.
- Каналы вторичных пучков.

Экспериментальный зал имеет размеры $60 \times 130 \text{ м}^2$. В основу здания заложена монолитная плита толщиной 2,5 м, обеспечивающая геодезическую стабильность оборудования и защиту грунта и грунтовых вод от активации при остановке сильноточного пучка. Защита каналов и установок в основном состоит из бетонных блоков с плотностью $3,5 \text{ т/м}^3$. Объем изготовленной защиты позволяет транспортировать в зале пучки с интенсивностью до 100 мкА. Нарращивание защиты позволит работать с пучками до 300 мкА.

Экспериментальный комплекс



Нейтронный комплекс ИЯИ РАН:

- Импульсный источник тепловых нейтронов ИН-06 для исследований конденсированных сред
- Импульсный источник эпитепловых нейтронов с времяпролетными спектрометрами на базе установки РАДЭКС
(исследования нейтрон-ядерных взаимодействий, отработка нейтронных методик исследования материалов)
- Спектрометр по времени замедления нейтронов в свинце СВЗ-100
(исследования нейтрон-ядерных взаимодействий)

Ревизия импульсного источника нейтронов ИИ-06.



Нейтронный источник РАДЭКС с время-пролетными каналами

Источник включает:

- Вольфрамовую мишень с водяным замедлителем для эпитепловых нейтронов
- Три вакуумных времяпролетных канала с ловушками нейтронных пучков
- Биологическую защиту

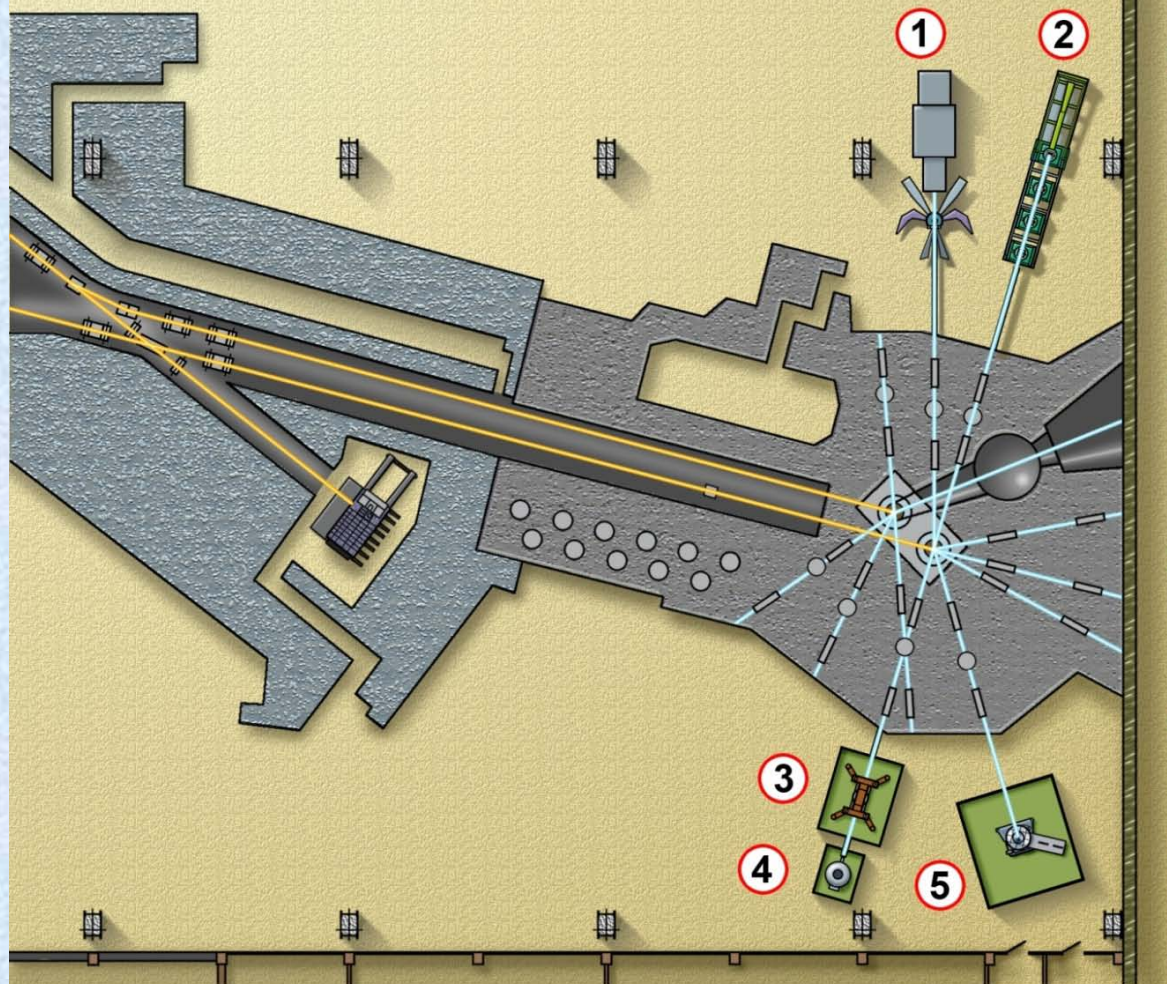


Созданный источник может быть оптимизирован для широкого спектра задач

В 2012 году должны быть завершены:

- Система одновременной работы с пучком на установках РАДЭКС и КПТ ;
- Система корректирующих магнитов;
- Система диагностики пучка канала на импульсный нейтронный источник ИН-06 (пикап-электроды, профилометры, индукционные датчики тока, охранная система);
- Компьютерная система ввода-вывода профилометров;
- Установка современных источников питания на прямом участке канала в зд.25/1;

ИМПУЛЬСНЫЙ ИСТОЧНИК НЕЙТРОНОВ ИН - 06

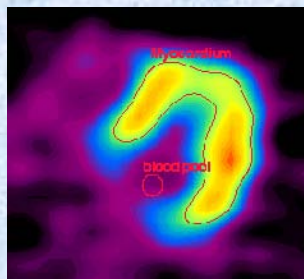


- 1 Многофункциональный нейтронный спектрометр (МНС) для исследований в широком диапазоне характерных размеров от 0.1 до сотен нанометров.
- 2 Многофункциональный нейтронный малоугловой спектрометр (рефлектометр) "Горизонт".
- 3 Нейтронографическая установка для исследования вещества в экстремальных условиях "Геркулес".
- 4 Дифрактометр-спектрометр общего назначения для исследования объёмных поликристаллов "ДИАС".
- 5 Автоматизированный дифрактометр для исследования структуры монокристаллов "Кристалл".



Производство медицинских радионуклидов

– доклад Б.Л.Жуйков



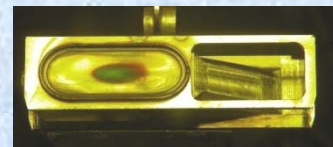
Наработка стронция-82 на ускорителе ИЯИ РАН



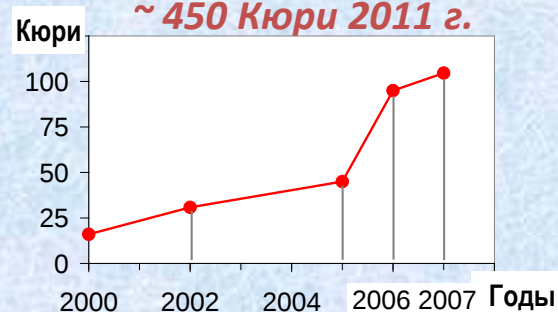
Центральная часть установки по облучению мишеней



Облученная мишень металлического рубидия



Рост рынка потребления стронция-82 в США
~ 450 Кюри 2011 г.



Пилотная установка по переработке мишени в г. Обнинске



Переработка мишени из ИЯИ РАН в Лос-Аламосе



Медицинский генератор стронций/рубидий-82 для диагностики кардиозаболеваний с помощью ПЭТ

Принцип работы стронций/рубидиевого-82 генератора

Инъекционная система

Физиологический
раствор
0.9% NaCl

Генератор

SnO_2 – сорбент
Адсорбированный ^{82}Sr (25 дней)
распадающийся в ^{82}Rb (1,3 мин)

$^{82}\text{RbCl}$ в растворе

Компьютерное
изображение
сердца

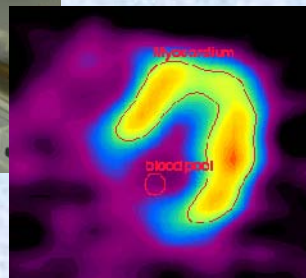
Кровеносная
система
пациента
Распад ^{82}Rb

ПЭТ - сканнер

Генератор, разработанный в ИЯИ РАН

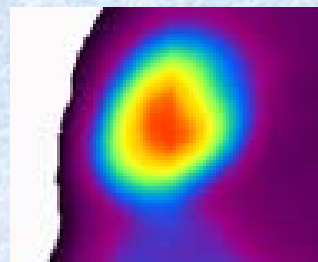


Испытания генератора на позитронно-эмиссионном
томографе в РНЦ РХТ Росмедтехнологий, С-Петербург

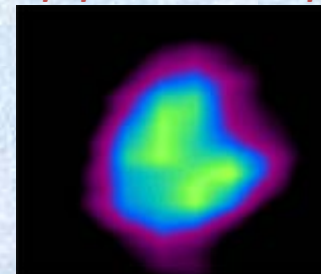


Сердце кролика:

здоровое



с инфарктом миокарда



Сердце первого пациента в проводимых
клинических испытаниях - продиагностировано
более 150 человек + онкология!

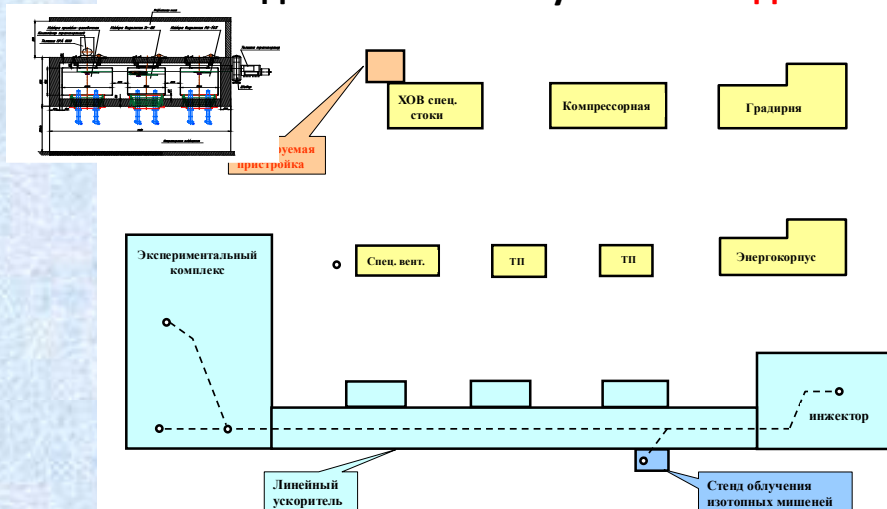
Перспективы производства медицинских изотопов



РАДИО- НУКЛИД	ПРИМЕНЕНИЕ	ПЕРИОД ПОЛУ- РАСПАДА	ГОДОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО, кюри	КОЛИЧЕСТВО ПАЦИЕНТОВ (в 1 год)
^{82}Sr	ПЭТ-диагностика (кардиология)	25 дн.	400	500 000
$^{117\text{m}}\text{Sn}$	Терапия, γ -диагностика (костные онкологические, сердечно сосудистые заболевания)	14 дн.	30	1 000
^{67}Cu	Терапия (онкология)	62 ч	100	1 000
^{64}Cu	Терапия, ПЭТ-диагностика (онкология)	12.7 ч	700	1 000
^{72}Se	ПЭТ-диагностика (онкология)	8.5 дн.	60	80 000
^{103}Pd	Терапия (рак простаты, печени, молочной железы, ревматоидные артриты)	17 дн.	800	10 000
^{225}Ac	Терапия (онкология)	10 дн.	100	100 000
^{223}Ra	Терапия (онкология)	11.4 дн.	500	300 000

Расположение новых установок для получения изотопов в существующих корпусах:

Радиохимический участок в зд.17



Новый циклотрон в зд.25



Центр протонной (лучевой) терапии зд.25, Троицк, ИЯИ РАН

The primary goal:

irradiation of malignant tumors by protons only or in a combination with irradiation by photons.

Basic facilities:

- The proton linac (energy 74 – 247 MeV),
- The linear electron accelerator SL-75-5-MT (energy up to 6 MeV).

The Center also consists of:

- The proton-beam transport channel,
- 2 treatment rooms (protons and photons),
- The ambulatory for 30 patients per day,
- X-ray laboratory for topometry and therapy .



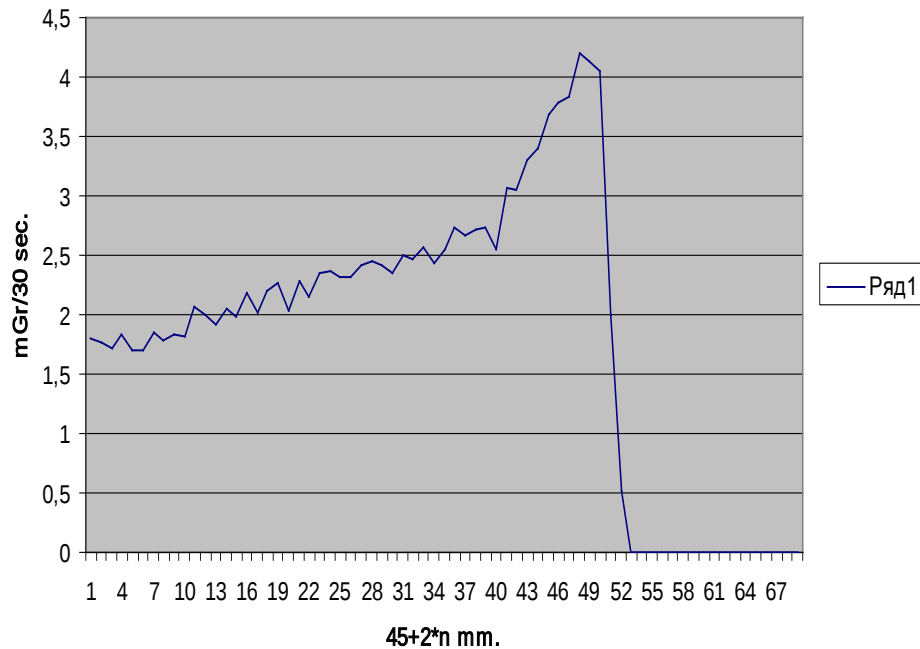
Первая очередь КПТ ИЯИ РАН принята Госкомиссией
экскурсия С.В.Акулиничев



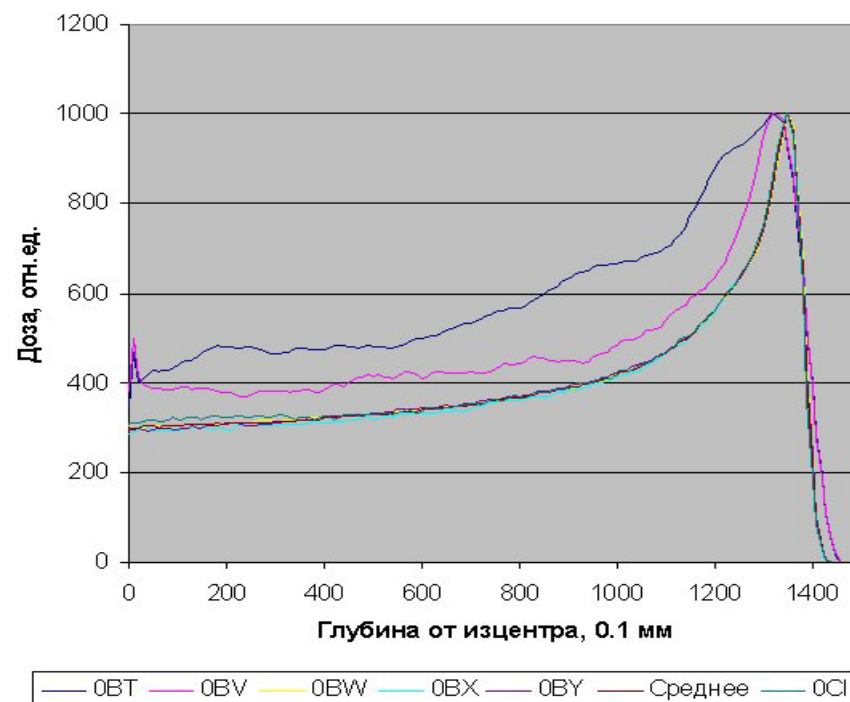
Измерения на фантоме

209 МэВ, 160 МэВ, 127 МэВ

27.03 D1=70 D2=70



Глубинные дозы, 40 мм



Участие ИЯИ РАН в Международных ускорительных коллаборациях



1. CERN – LHC (3 Addendums), Linac 4
2. DESY – S-band, TESLA, TTF, PITZ, XFEL (~30 contracts)
3. ORNL – SNS (~20 contracts)
4. KEK/JAERI – J-PARC
5. TRIUMF, LANL, ANL, FNAL, BNL, JINR etc...

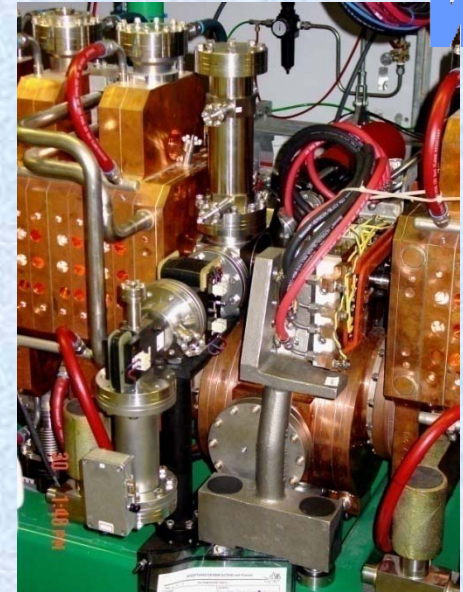
SNS Bunch Shape Monitors



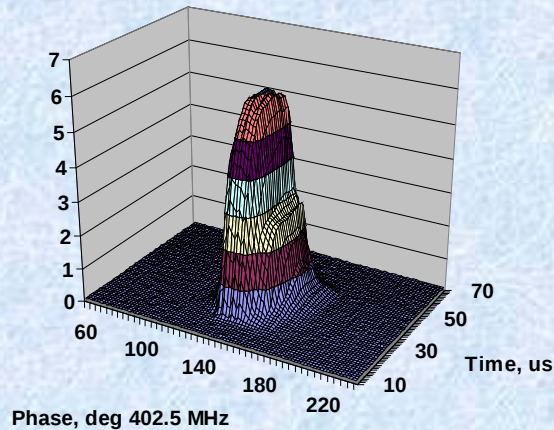
BSM developed for
SNS Linac



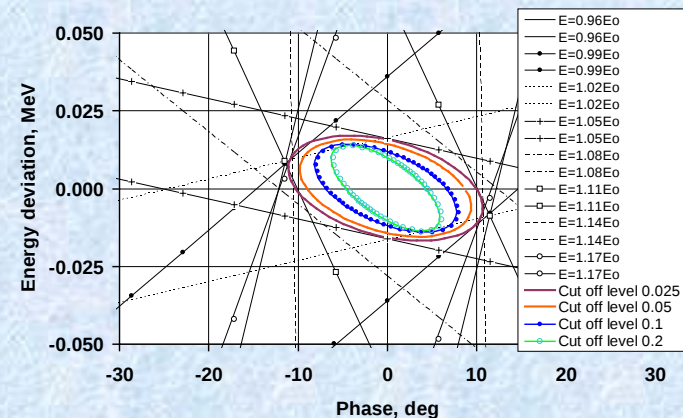
BSM
electronics



BSM in the inter
segment of the CCL
module of SNS linac



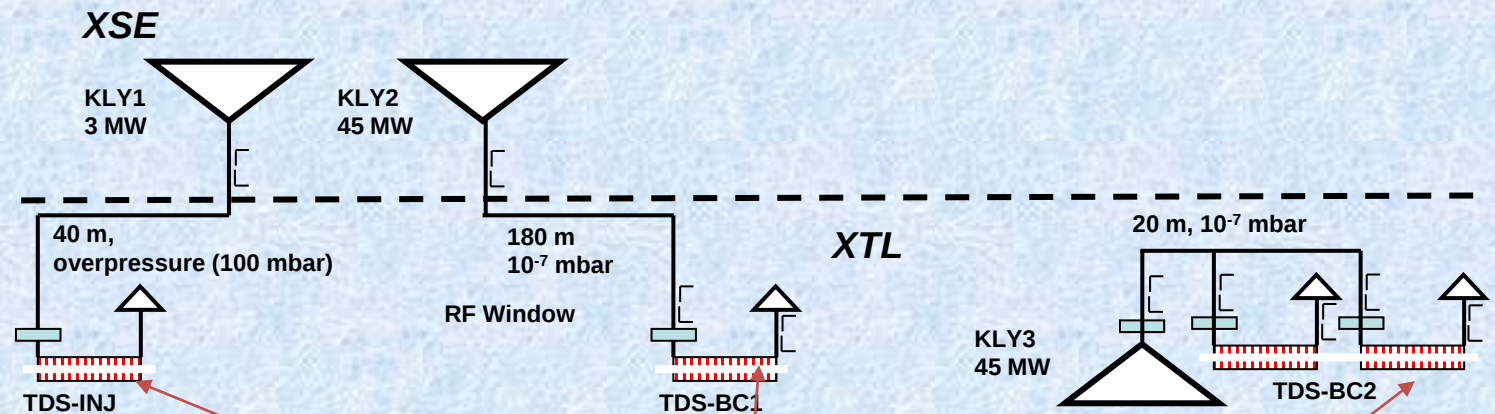
Evolution of longitudinal
distribution within the beam
pulse in SNS Linac



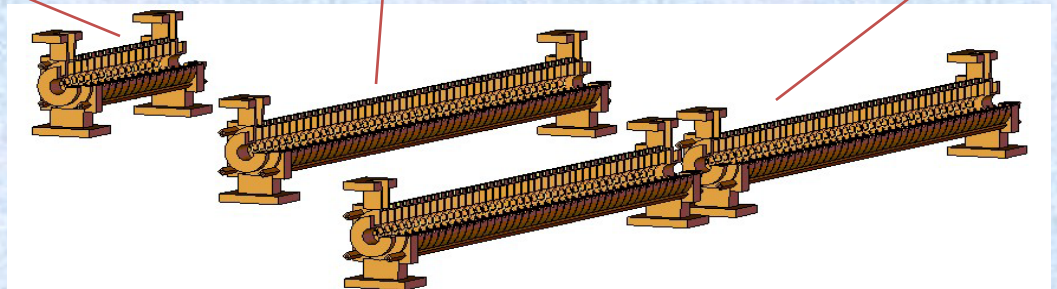
Longitudinal emittance at the
exit of DTL Tank 1 of SNS Linac

XFEL Special Beam Diagnostics

To achieve and maintain stable operation of the XFEL, three dedicated diagnostic sections are foreseen for the characterization and stabilisation of the electron beam. The diagnostic sections will be located in the injector and downstream of the two bunch compressor sections BC1 and BC2. For the measurement of the longitudinal beam profile, the slice energy spread and the slice emittance, transverse deflecting structures (TDS) will be installed in all three diagnostic sections.



Location	Ud	t _{fill} , ns
Injector	1.7 MV	<120
BC1	14 MV	<320
BC2	27 MV	<320



Заключение

Комплекс на базе сильноточного линейного ускорителя ионов водорода ИЯИ РАН работоспособен и имеет потенциал развития в центр коллективного пользования мирового класса.

Выделяемые средства недостаточны для регулярной эксплуатации и повышения эффективности работы комплекса.

Необходимо финансирование как для проведения исследований и решения инновационных задач, так и для дальнейшего развития и привлечения молодежи..

Первая очередь (100 кВт в пучке) многоцелевого комплекса на базе СЛУ ионов водорода (мезонная фабрика) завершается строительством в 2012 г.

Просьба к НС РАН по УЗЧ рекомендовать выделение средств на завершение второй очереди – достижения проектных параметров ускорителя и развития экспериментального комплекса, создания радиохимической лаборатории и второй очереди комплекса лучевой терапии

Л.В.Кравчук Заседание Научного Совета
РАН по УЗЧ 08.02.2012

Благодарность сотрудникам ОУК, ОЭК, ЛНИ, ПРИК, ЛМФ,
ОЭФ, ЛАЯ, СГЭ, СГМ и др.

С Днем науки!

Спасибо за внимание

***Л.В.Кравчук Заседание Научного Совета
РАН по УЗЧ 08.02.2012***