

50 лет СЦ-1000



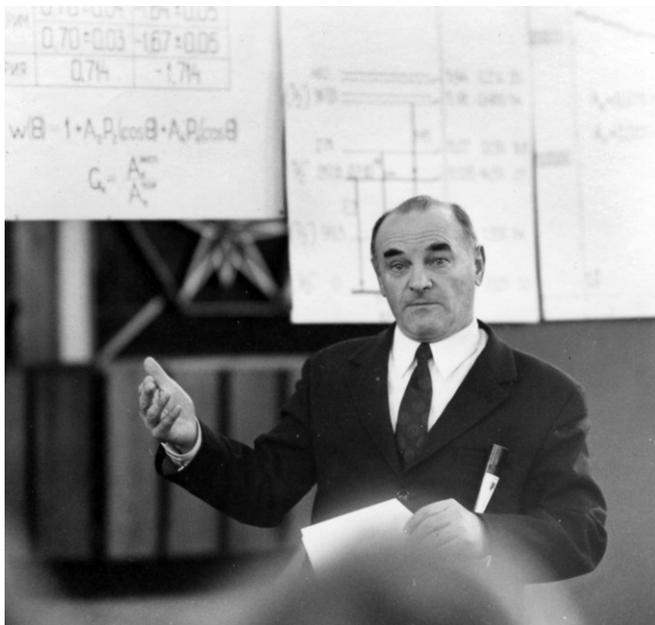
РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА КОМПЛЕКСА СЦ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ

- Конструкция и компоновка основных узлов СЦ были разработаны в НИИЭФА при участии сотрудников ФТИ
- Изготовление оборудования ускорителя производилось, главным образом, на заводе ЛЭЗ ЛЭО "Электросила.
- Проект здания СЦ и его технологических систем был разработан в "Ленинградском проектном институте", проект электрооборудования разработали НИИЭФА, и ГНИ "Тяжпромэлектропроект".
- Строительство СЦ было начато в 1959 году силами военных строителей

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ СЦ

- От **НИИЭФА** в разработке проекта непосредственное участие принимали:
Е.Г.Комар, И.Ф.Малышев,
Б.В.Рождественский, И.М.Ройфе,
Е.В.Середенко, А.Т.Честноков,
Н.А.Моносзон, И.В.Гусев и В.И.Перегуд.
- Участниками работ по созданию синхроциклотрона от **ФТИ** были:
Д.Г.Алхазов, Д.М.Каминкер, А.П. Комар,
Н.К.Абросимов, Н.Н.Чернов, А.В.Куликов,
Г.А.Рябов, В.А.Елисеев, С.П.Дмитриев,
Г.Ф.Михеев и др.

Руководители работ от ФТИ АН СССР по созданию СЦ-1000



Директор филиала ФТИ
АН СССР, профессор
Д.М. Каминкер



Академик АН УССР,
А.П. Комар



Зав. лаб., профессор
Д.Г. Алхазов

Научный руководитель проф. Д.Г.Алхазов



**Руководителем технологической группы, а затем бессменным руководителем Ускорительного отдела с 1959 по 2011 год был
Н.К.Абросимов**



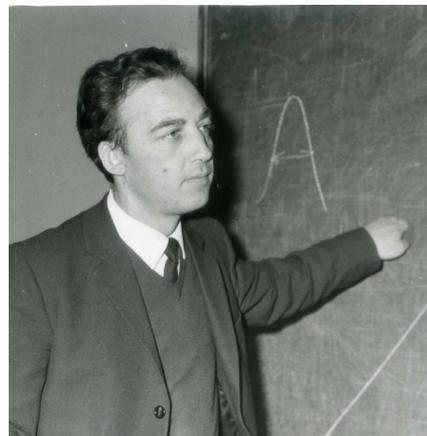
Молодые сотрудники ФТИ АН СССР – участники работ по созданию СЦ-1000



Н.К. Абросимов



Н.Н. Чернов



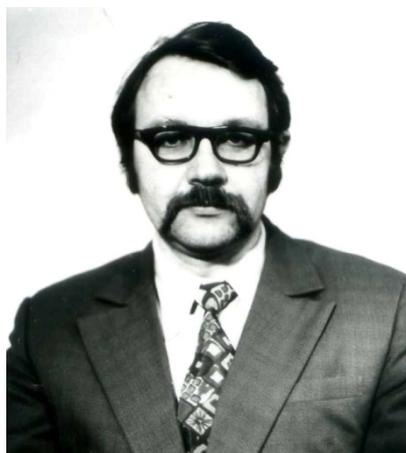
А.В. Куликов



И.А. Петров



Г.А. Рябов



В.А. Елисеев



С.П. Дмитриев



Г.Ф. Михеев

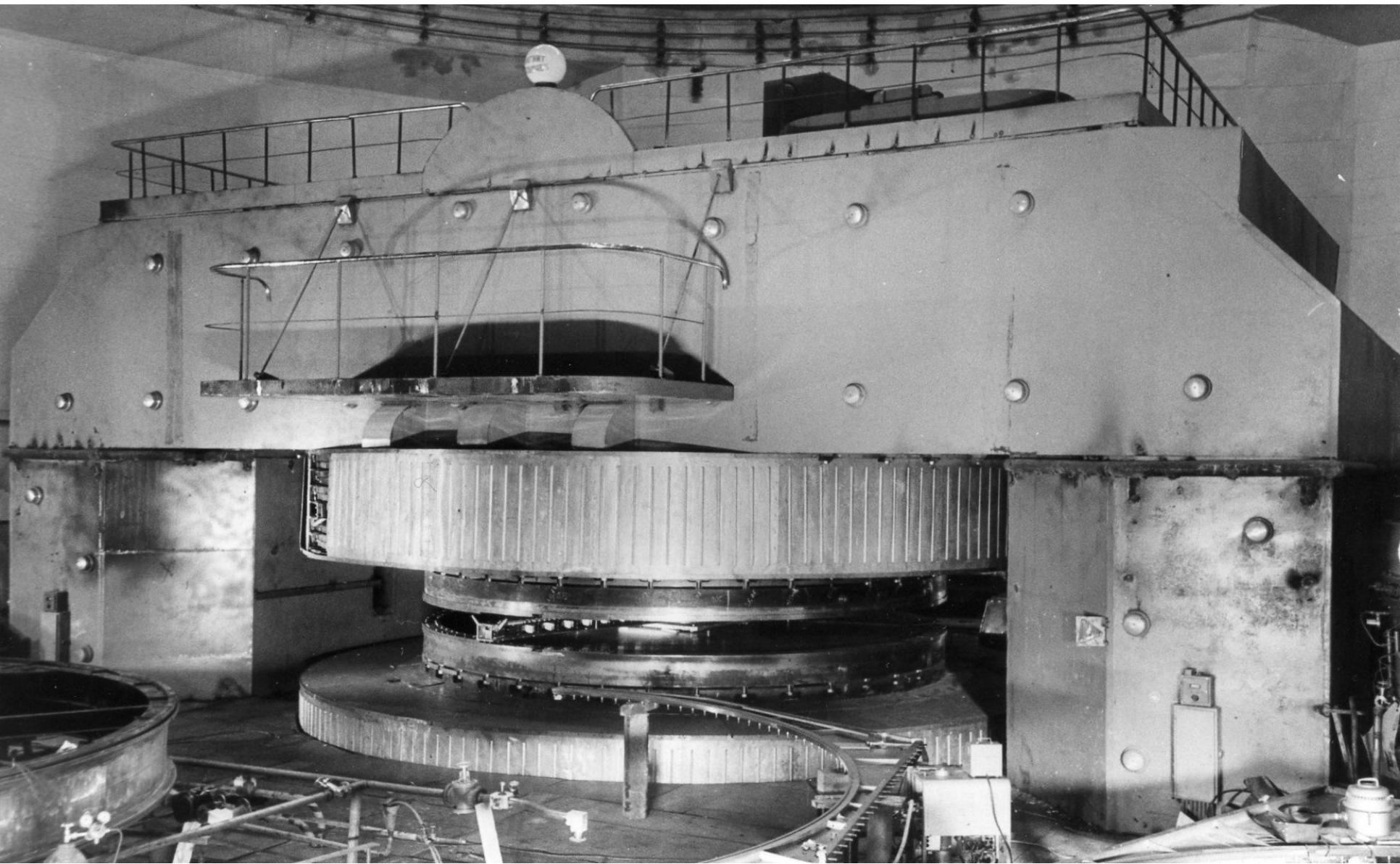
Начало строительства в 1959 г.



ОСОБЕННОСТИ СЦ-1000

МАГНИТ

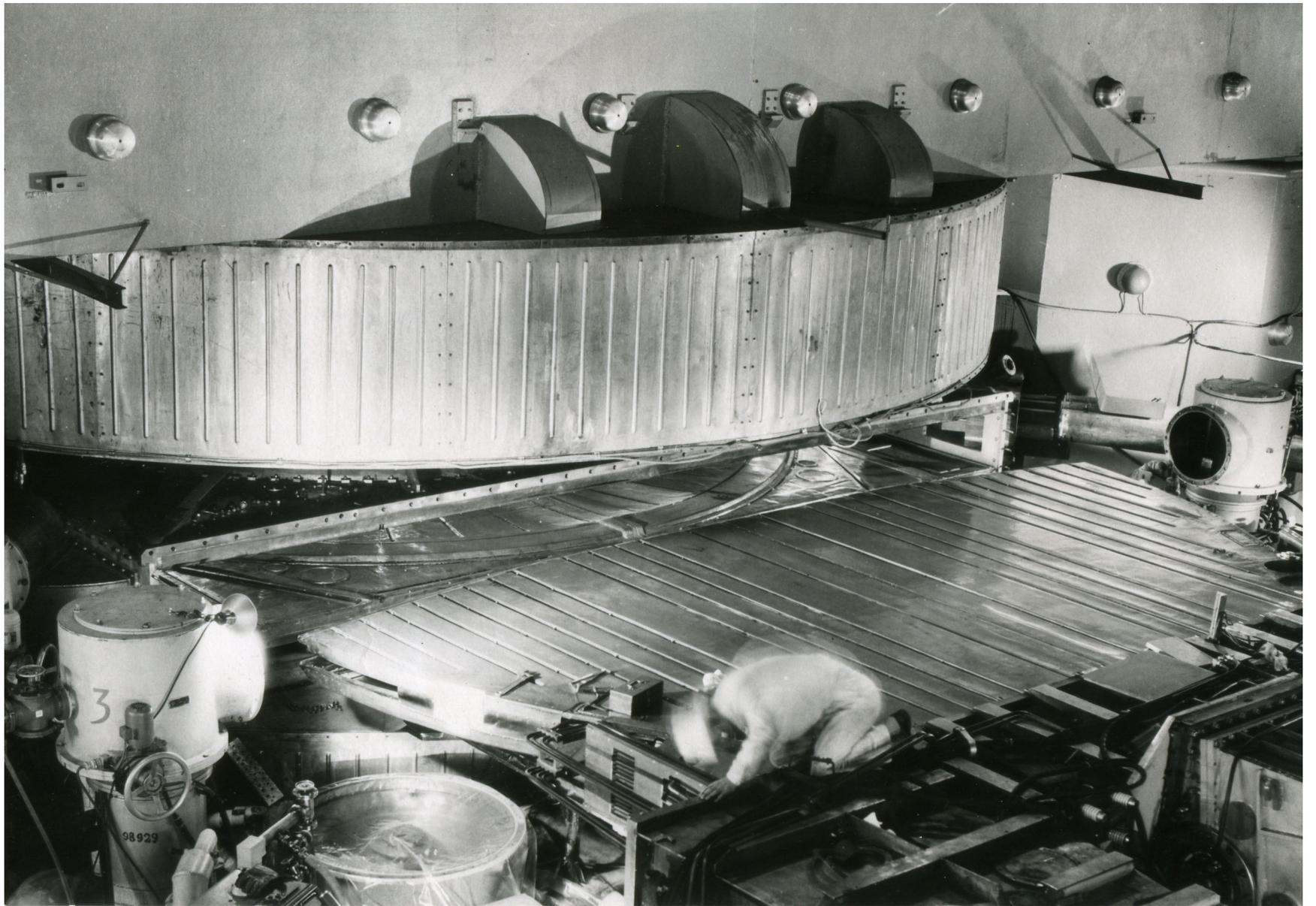
- диаметр полюса 7 метров
- межполюсный зазор 0.5 метров
- ток основной обмотки 5000 А
- мощность 1 МВт
- вес магнита 7800 т
- самый большой в мире магнит со сплошным полюсом



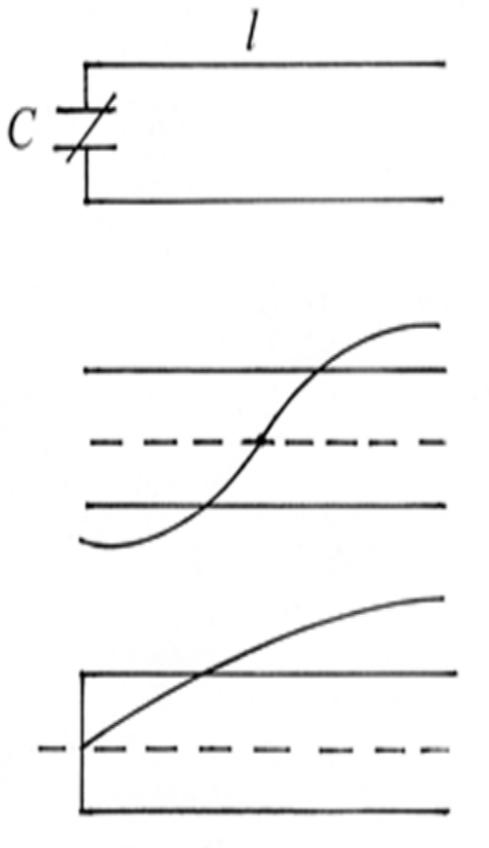
ОСОБЕННОСТИ СЦ-1000

УСКОРЯЮЩАЯ СИСТЕМА

- диапазон частот 30-13 МГц ($\lambda=10-22\text{м}$)
- размер дуанта 7 x 4 метра
- ускоряющее напряжение 10 кV
- мощность 150 кВт
- частота повторения 50 Гц
- коэф. перекрытия частот 2.3 раза



Проблемы создания ВЧ – системы

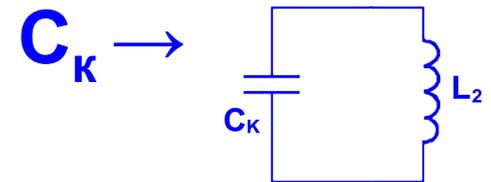
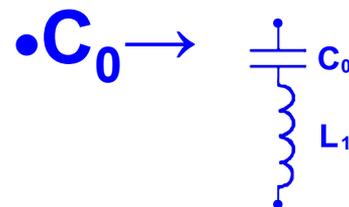


В однородной линии

- Перекрытие частот 2 при бесконечном коэф. перекрытия по ёмкостям

Решение проблемы

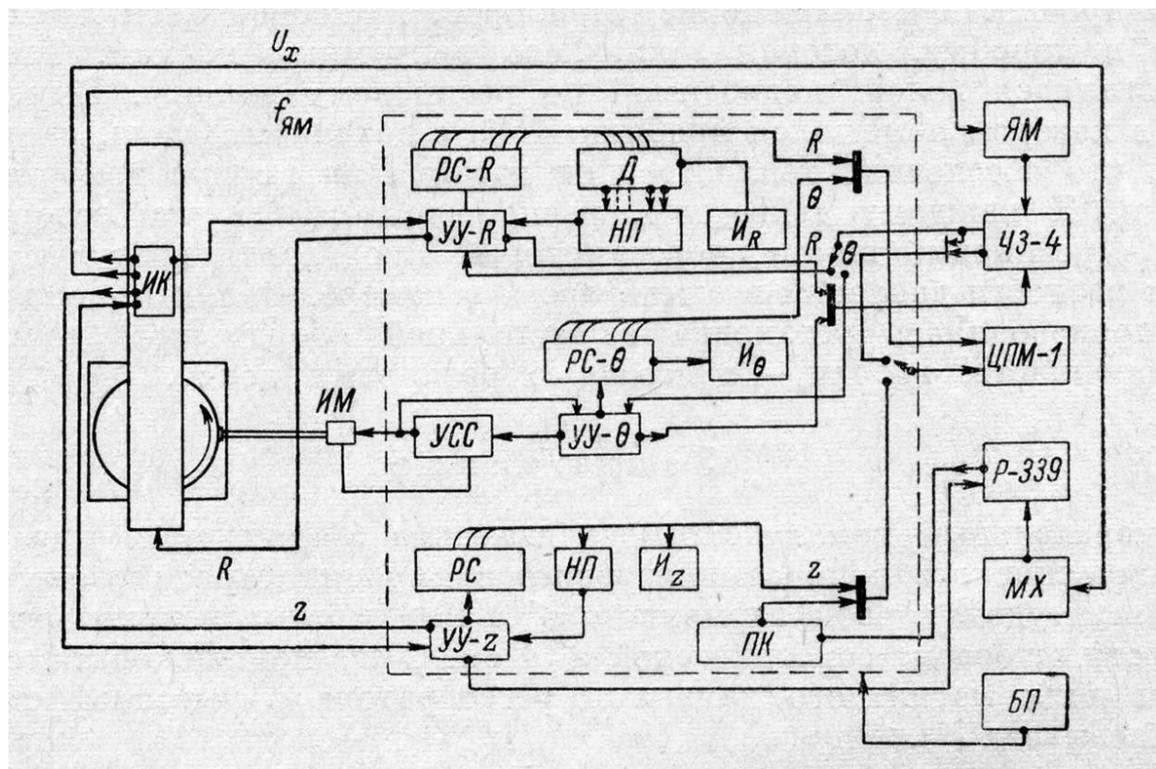
- Неоднородная линия с введением в вариатор индуктивностей



Проблемы в процессе запуска

- Из-за долгостроя проект опаздывал на 10 лет и устаревал на фоне бурного развития ЭВМ, создания изохронных циклотронов, проектов создания мезонных фабрик - требовалась модернизация проекта.
- Сложности настройки высокочастотной системы
- НИИЭФА, ответственная за запуск, была занята запуском национального ускорителя в Серпухове
- Комиссия АН во главе с В.П. Желеповым предложила закрыть проект, а академик Флёров предложил переделать магнит для ускорения тяжёлых ионов.
- Группа молодых руководителей УО уговорила дирекцию взять ответственность за запуск на себя и модернизировать проект.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОЕКТА – СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ И ШИММИРОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ



5000 точек → 8 часов
Беспрецедентно
высокие результаты
коррекции поля:

- 1 гармоника $< 10^{-4}$
- Медианная плоскость ± 1 см

Заложена основа для
хорошего качества пучка
и эффективного вывода.

Команда по формированию магнитного поля СЦ-1000



И.А.Петров



Г.А.Рябов



В.А.Елисеев



И.И.Ткач

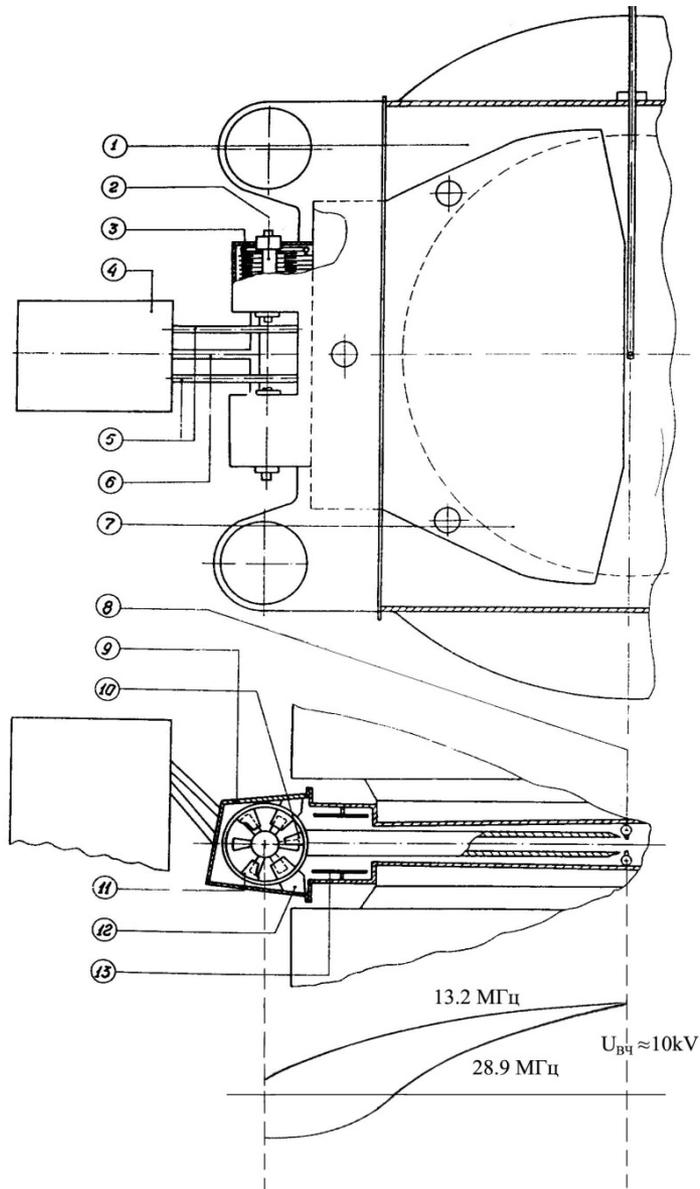


Модернизация и настройка ВЧ-системы

- Модернизация конструкции вариатора для получения частотного диапазона.
- Устранение паразитных резонансов и мод колебаний в резонансной системе.
- Настройка генератора и системы обратной связи.

ВЧ – ускоряющая система СЦ-1000

Дуант – вариатор частоты
(три патента СССР)



4 ноября 67 г. – физический пуск

**ПРАВИТЕЛЬСТВЕННАЯ
ТЕЛЕГРАММА**
МИНИСТЕРСТВО СВЯЗИ СССР

ДЛЯ ЗАМЕТОК АДРЕСАТА:

ПРИЕМ: 5 01 01 го ч м Бланк № 385 Принял: [подпись]	ПЕРЕДАЧА: го ч м № связи Перезал:	Адрес: =ПРАВИТЕЛЬСТВЕННАЯ ЛЕНИНГРАД К-21 ФТИ ПРОФЕССОРУ В М ТУЧКЕВИЧУ Г А ГУКАСОВУ Г Е КОГАРОВУ=
---	--	---

Из МОСКВЫ 71/001 51 5 1945:
ст. го ч. м.

=ПРЕЗИДИУМ АКАДЕМИИ НАУК СССР ПОЗДРАВЛЯЕТ КОЛЛЕКТИВ
ЛЕНИНГРАДСКОГО ФИЗИКО ТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА С БОЛЬШИМ
НАУЧНЫМ ДОСТИЖЕНИЕМ ФИЗИЧЕСКИМ ПУСКОМ СИНХРОЦИКЛОТРОНА
ЖЕЛАЕМ НОВЫХ УСПЕХОВ РАБОТЕ=ПРЕЗИДЕНТ АКАДЕМИИ НАУК СССР
АКАДЕМИК КЕЛДЫШ ГЛАВНЫЙ УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ ПРЕЗИДИУМА
АКАДЕМИИ НАУК СССР АКАДЕМИК ПЕЙВЕ 4291-

- Энергия 750 МэВ
- Интенсивность пучка → 0

Этап перехода от мертвого к живому

**Зав. Ускорительного отдела Н.К.Абросимов,
гл. инженер УО Н.Н.Чернов и
гл. инженер ОФВЭ А.В. Куликов поздравляют друг-друга с запуском
СЦ-1000**



ЗАПУСК В ЭКСПЛУАТАЦИЮ

- Модернизация высокочастотной программы для получения энергии 1000 МэВ
- Повышение интенсивности пучка и переход на источник типа Пеннинга
- Вывод пучка из камеры и транспортировка его к экспериментальным установкам



A. Комар

Основной штаб лаборатории А.П.Комара разработчики физ. программы работ на СЦ-1000



А.А.Воробьев



Г.Д.Алхазов



С.П.Круглов



Э.Е.Берлович

Команда по наладке ВЧ ускоряющей системы СЦ-1000 (3 патента СССР)



Н.К.Абросимов



А.В.Куликов



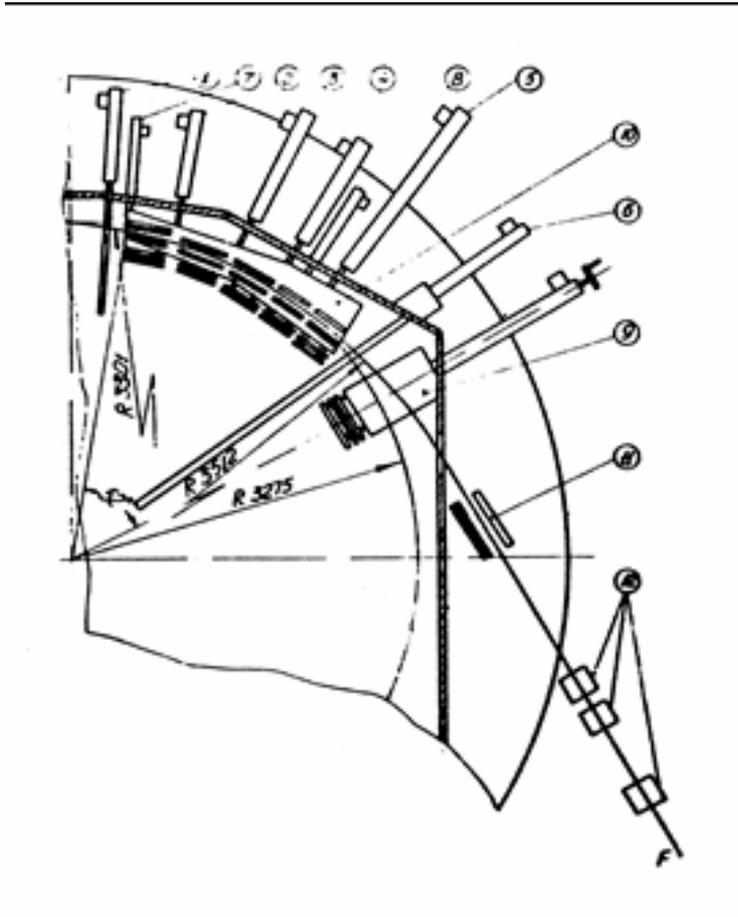
Н.Н.Чернов



С.Г.Дмитриев



Система вывода



- Стандартный коэффициент вывода для синхроциклотронов 3-5%.
- Путём массового моделирования на ЭВМ траекторий частиц исследованы причины потерь в выводе и создана широкоапертурная система с рекордным выводом в **30 %**.

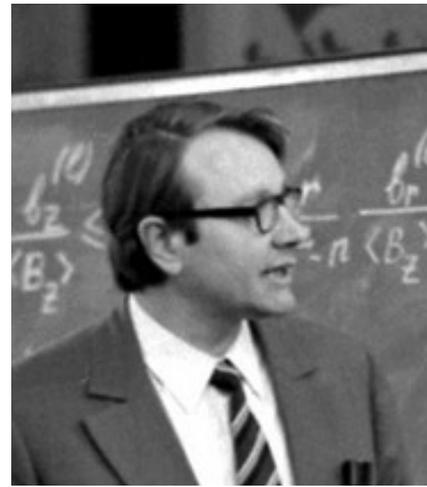
Команда по наладке выводной системы протонного пучка СЦ-1000



Н.К.Абросимов



Г.А.Рябов



В.А.Елисеев



В.А.Волченков

Результаты работ к 1970 г.

- Энергия пучка 1000 МэВ
- Интенсивность внутреннего пучка ускорителя $\sim 1.5 \cdot 10^{12}$ частиц/с (0.6 мкА), а интенсивность выведенного пучка $\sim 3 \cdot 10^{12}$ частиц/с (0.2 мкА)

№ 178/1976
 КОМПЕТЕНТНЫЙ АДМИНИСТРАТИВНЫЙ
 УЧРЕЖДЕНИЕ
 (СЕРТИФИКАТ)

1976г. *Луганск 1976*

А. К. Т.
 проверка и выдача сертификата
 компетенции В.И.А.Лодко
 АИ СССР.

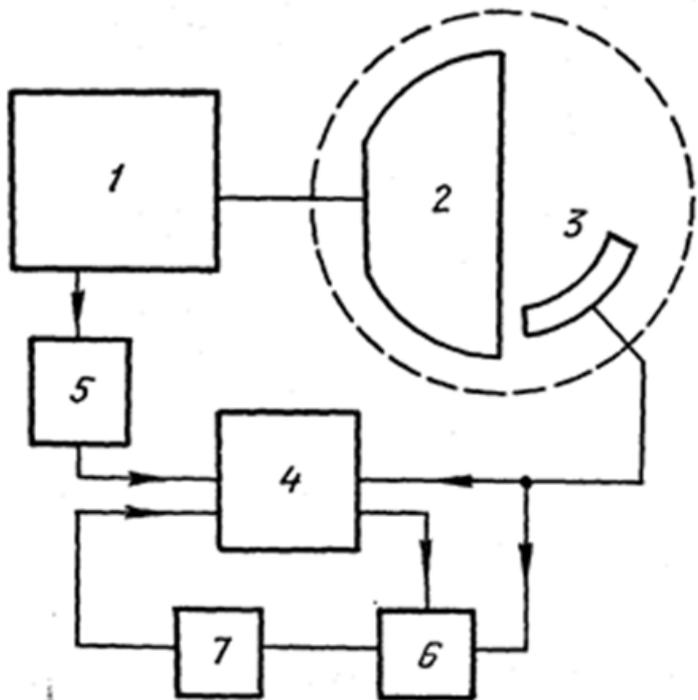
Государственные экзамены, назначенные Государственным
 Техническим АИ СССР № 11-230 от 27 февраля 1976г. в должности
 Г. ДИРЕКТОРА В.И. - инж. высшей категории - *Лодко*
 - инж. высшей категории - *Лодко*



6. Для обеспечения круглосуточной работы реактора
 Луганского завода усовершенствован отдел охраны в ТЭЦ АИ СССР
 заводскими специалистами до уровня эксплуатационного персонала.

ПРАВО ПОДПИСИ: *Лодко* (В.И.Лодко)

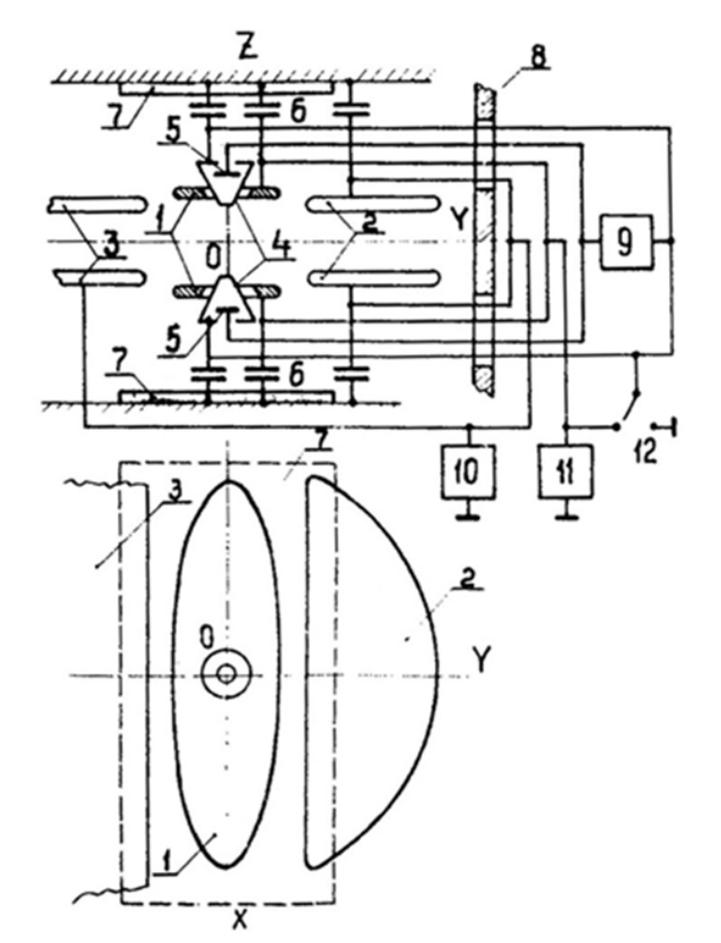
Усовершенствование СЦ-1000 - временная растяжка пучка для эффективной работы электронных методов регистрации



Особенности систем Сее электрода в ПИЯФ:

- - синхронизация ускоряющих систем и 100 % перехват пучка
- ферритовый вариатор частоты – малая ВЧ-мощность
- Патент СССР

Усовершенствование СЦ-1000 – вертикальная фокусировка в центре



**Повышение
интенсивности в 3 –
5 раз
Патент СССР**

КОНСТРУКЦИЯ ФОКУСИРУЮЩИХ ЭЛЕКТРОДОВ



Основные авторы разработки системы временной
растяжки пучка и фокусировки центральной области
(Три патента СССР)



Н.К.Абросимов



Н.Н.Чернов

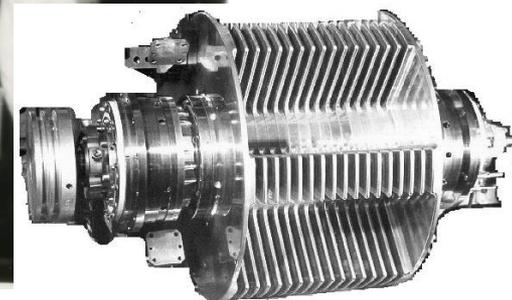
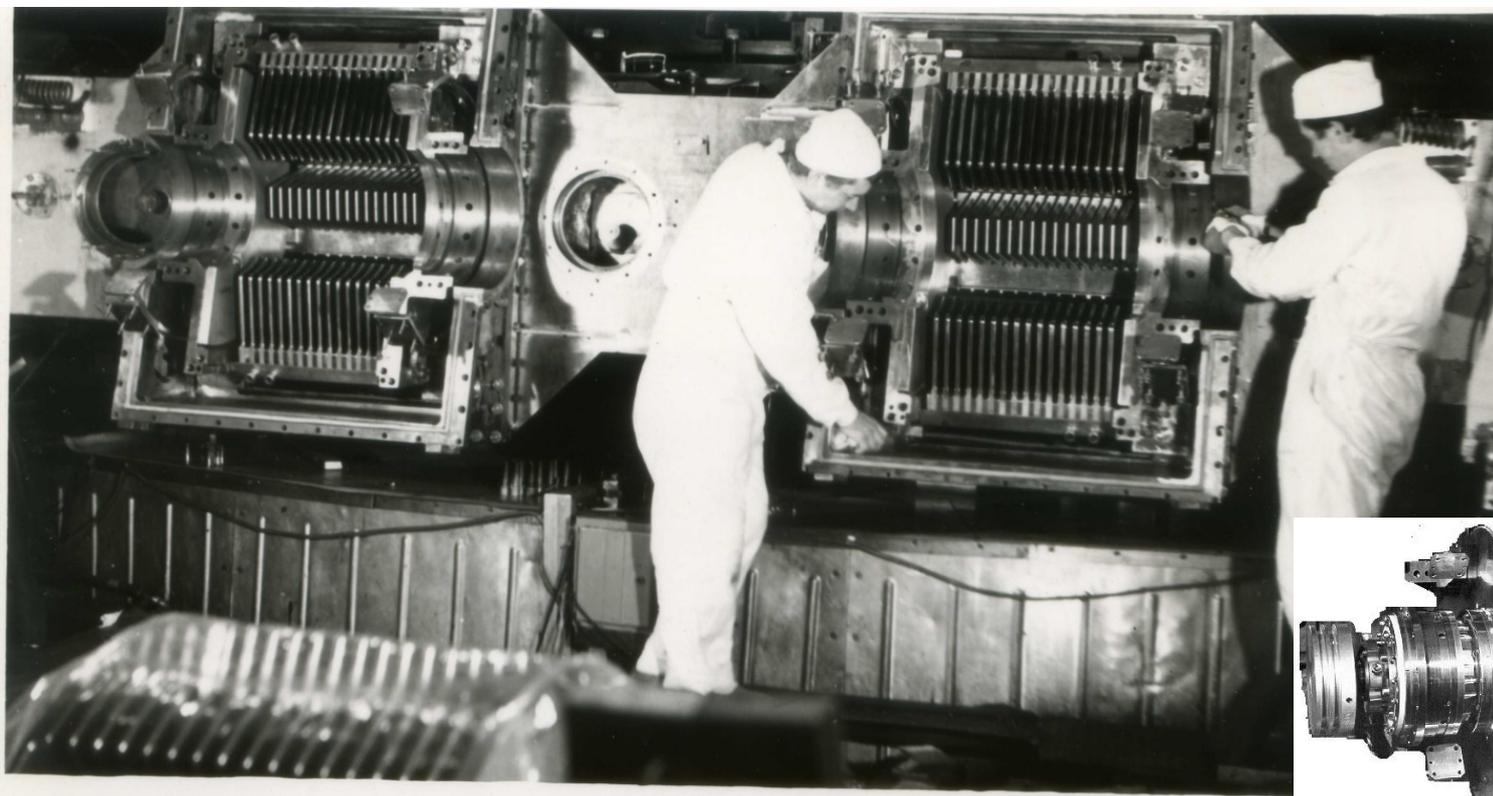


А.В.Куликов

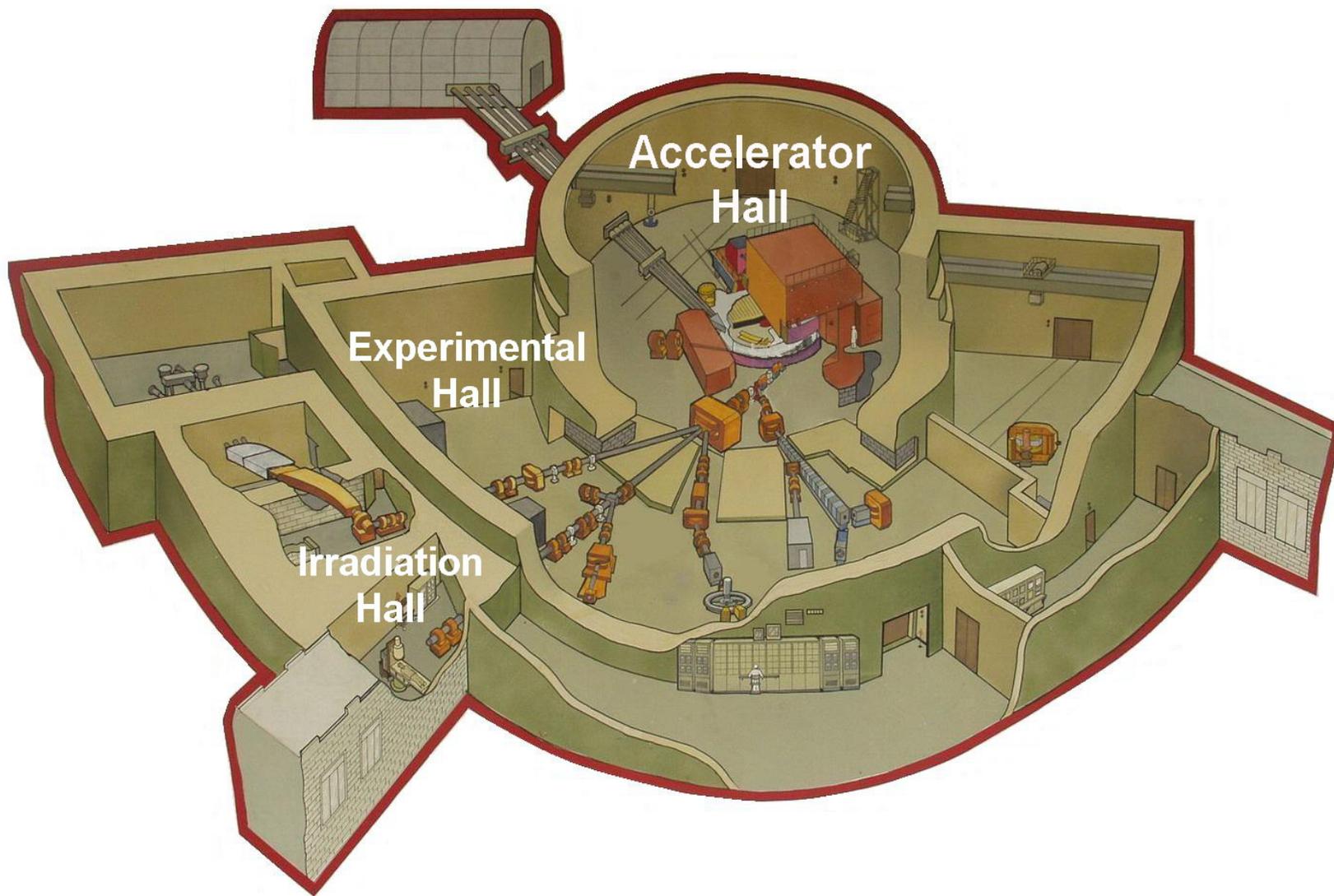


Г.Ф.Михеев

Модернизация конструкции вариатора для повышения стабильности и надёжности



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС СИНХРОЦИКЛОТРОНА



ПРОТОННАЯ ТЕРАПИЯ РАЗРАБОТКА ПИЯФ и ЦНИИРиХТ



Гатчинский метод -
энергия 1000
МэВ, облучение с
разных сторон

С 1975г. более
1350 больных с
реабилитацией
80 – 85 %

Основные авторы разработки комплекса
«Протонная терапия» на СЦ-1000
(два патента СССР)



А.А.Воробьев

Н.К.Абросимов

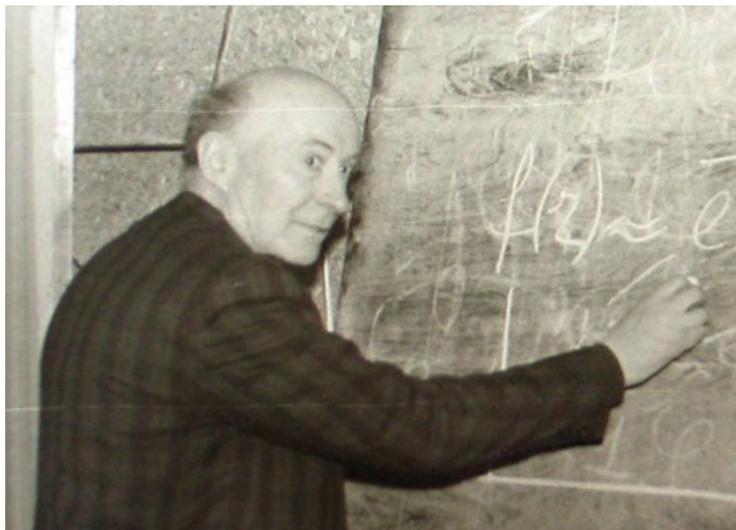
Б.А.Коннов

Д.Л.Карлин

Исследование Радиоактивных Изотопов на Синхроциклотроне- лаборатория ИРИС

- **Входит в международную систему
разделения труда наряду с
лабораториями:**
- **ИЗОЛЬДА – ЦЕРН**
- **ЮВЯСКЮЛА – Финляндия**
- **ТРИУМФ – Канада и т. д.**

Научный коллектив и авторы комплекса ИРИС



Э.Е.Берлович



Г.Д.Алхазов



Д.М.Селиверстов

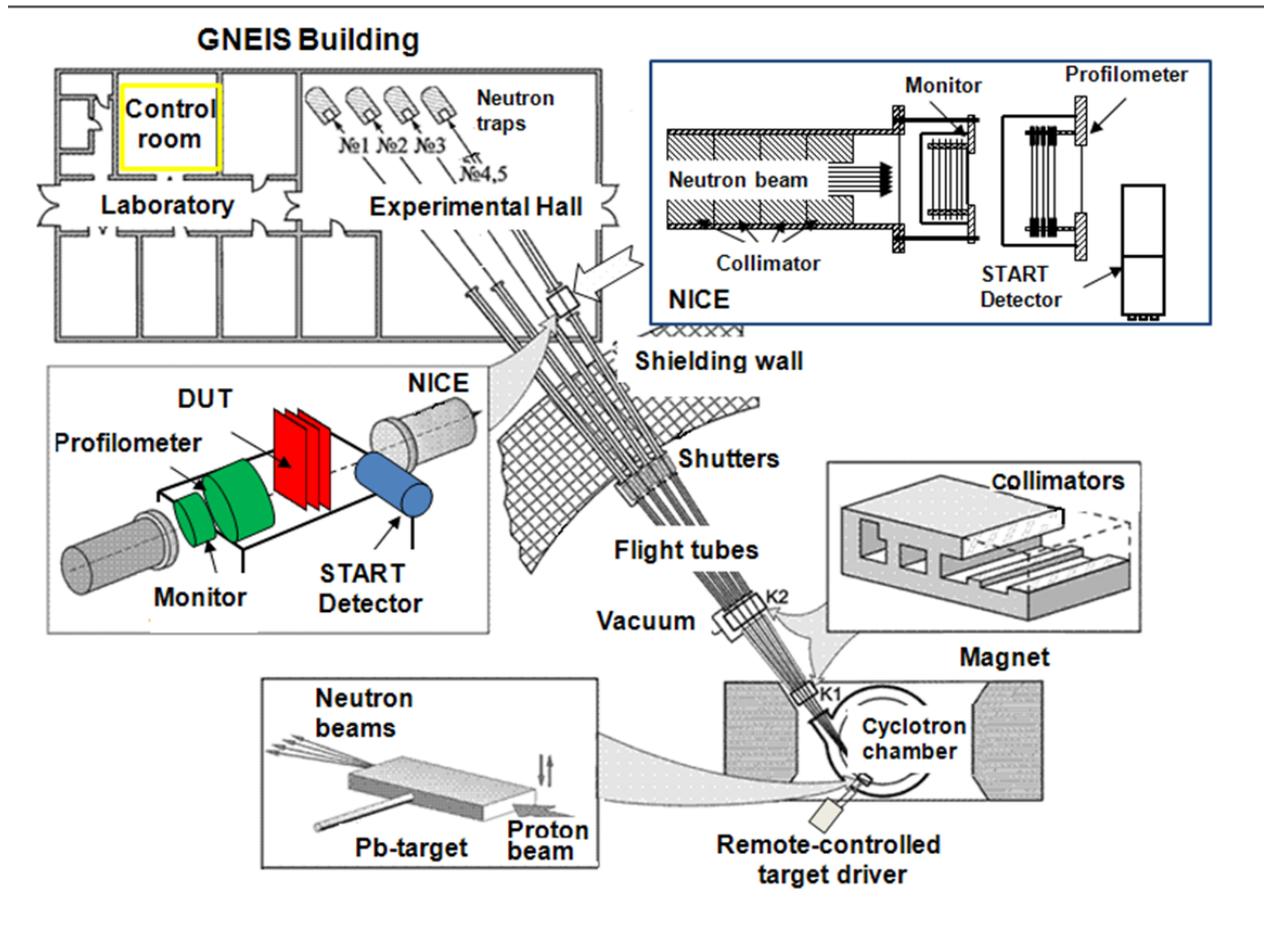


Ю.Н.Новиков



В.Н.Пантелеев

Генератор Нейтронов на Синхроциклотроне - ГНЕЙС



Команда разработчиков системы ГНЕЙС (патент СССР и патент РФ)



Г.А.Петров

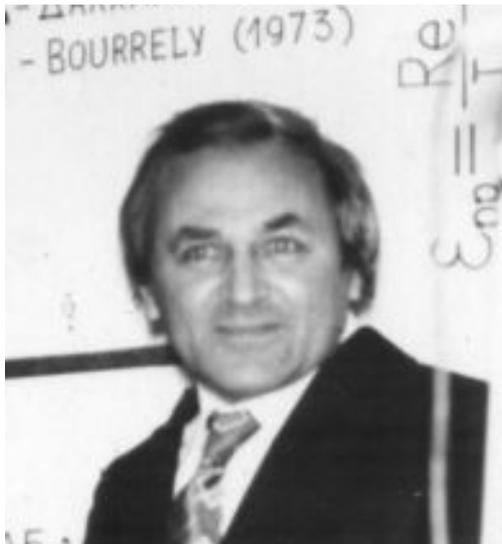
Г.З.Борухович

О.А.Щербаков

Г.Ф.Михеев

Спектрометр высокого разрешения МАП (Патент СССР)

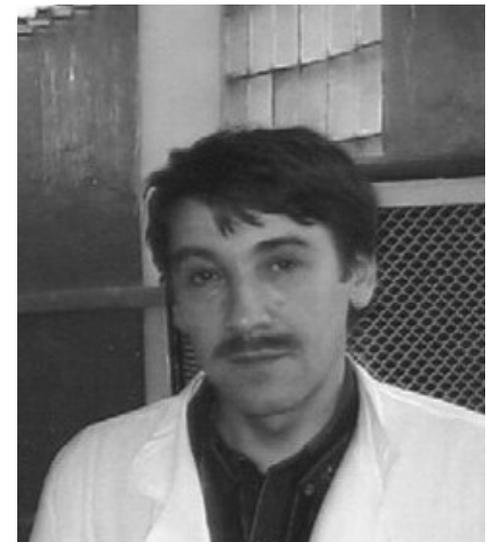
Выполнен цикл работ по квазиупругому рассеянию
на ядрах.



А.А.Воробьев

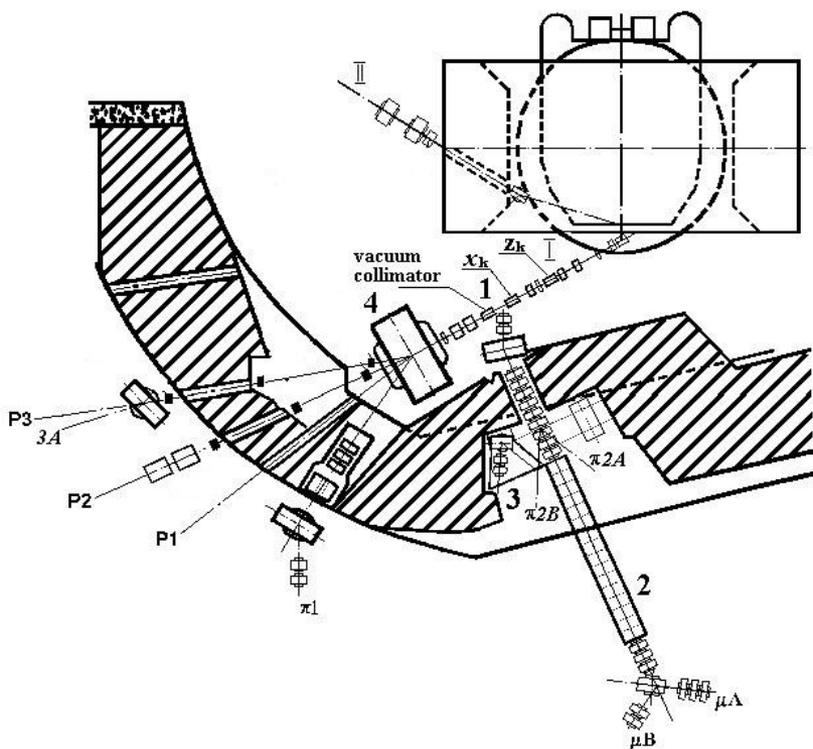


С.Л.Белостоцкий



О.В.Миклухо

Система вторичных пучков



- П1 – канал высоких энергий
- м - канал
- П2 – канал низких энергий

Разработаны новые расчётные методы, созданы каналы, проведена настройка на пучке

Команда вторичных пучков



Г.А.Рябов



В.А.Елисеев



В.А.Волченков



Е.М.Иванов



В.П.Коптев

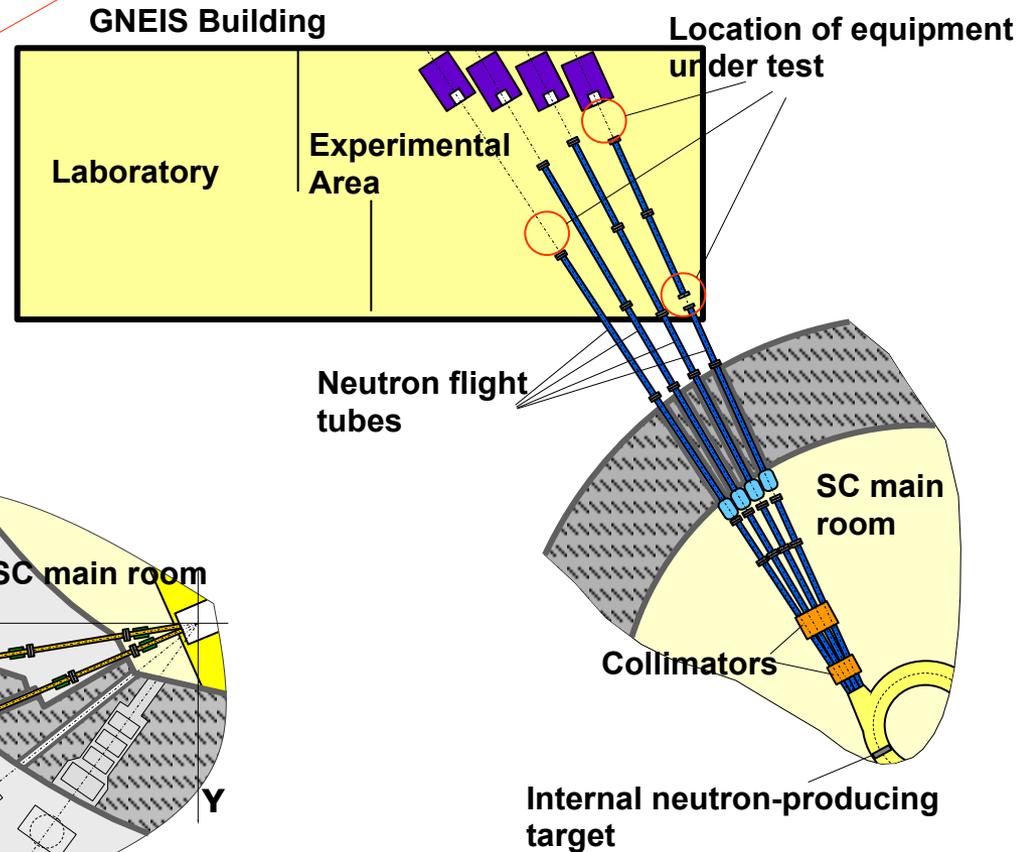


С.П.Круглов

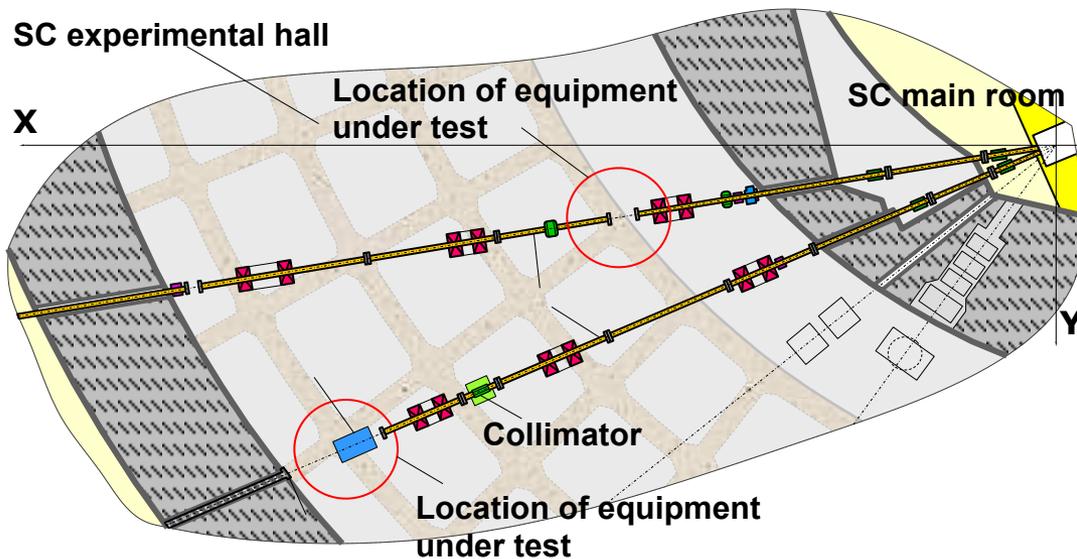
Создание центра по тестированию рад. стойкости электроники на протонных и нейтронных пучках (совместно НИИКП)



Neutron testing site



Proton testing site

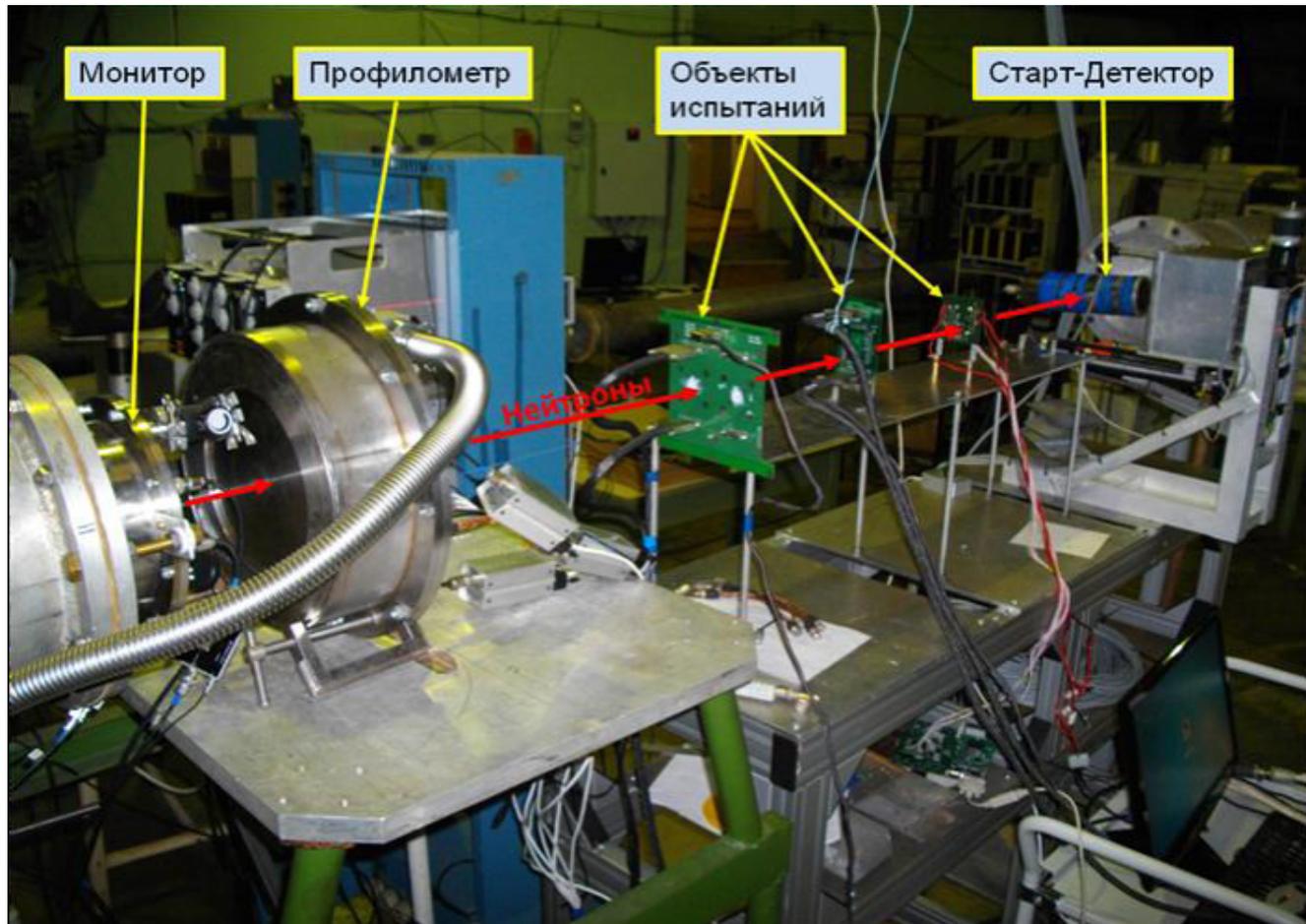
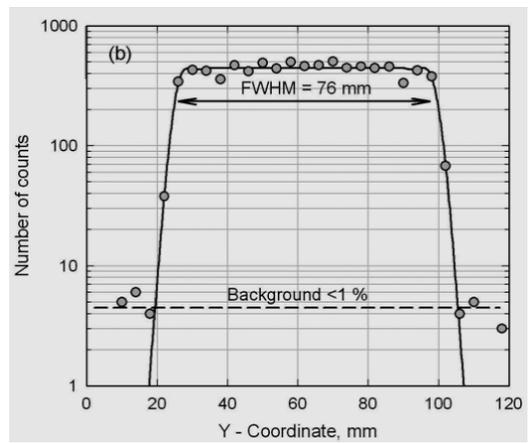
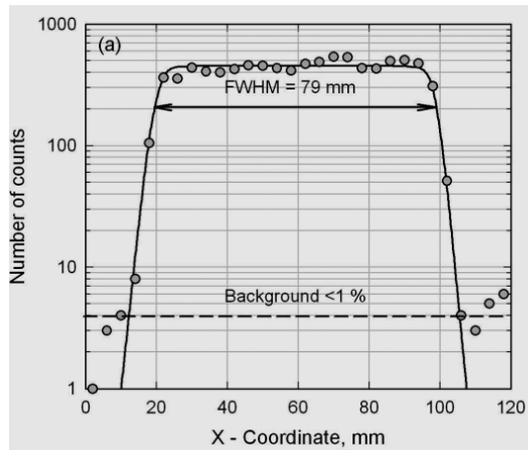


1000 МэВ протонный пучок и пучок с переменной 50- 900 МэВ энергией для тестирования



Экспериментальный стенд для испытаний ЭКБ на пучках протонов 50 – 900 МэВ





Ускоренное тестирование радиационной стойкости электроники на нейтронном пучке ПИЯФ

- Пучок нейтронов со спектром подобным атмосферным нейтронам обеспечивает нейтронный поток 4×10^5 н/ см²·сек**
- Один час облучения эквивалентен облучению в течение 5250 лет на уровне моря**
и естественному облучению в течение 110 000 часов на высоте 10-12 км

Разработка комплекса испытаний ЭКБ для авиации и космоса (патент РФ)



Е.М.Иванов



Г.А.Рябов



С.А.Артамонов



Г.Ф.Михеев



О.А.Щербаков

Основные направления исследований в настоящий период

Фундаментальная физика:

- Короткоживущие радиоактивные изотопы (ИРИС)
- Квазиупругое рассеяние на ядрах (спектрометр МАП)
- Каналирование (лаб. Ю. М. Иванова)
- Пион-нуклонные взаимодействия (Лаб. Мез. физики).
- Нейтронная физика высоких энергий(ГНЕЙС)

Основные направления исследований в настоящий период

Прикладные исследования:

- Протонная терапия**
- Исследование радиационной стойкости элементов и приборов электроники на пучках протонов и нейтронов**
 - Исследование новых материалов с помощью μ SR –метода**
 - Тестирование на пучке новых приборов, разработанных для работы на ускорителях всего мира**

Для ПИЯФ ускоритель является экспериментальной базой одного из основных направлений исследований по ядерной физике и физике элементарных частиц.

- На базе синхроциклотрона ПИЯФ прошли школу проведения эксперимента все ведущие сотрудники ОФВЭ, которые в дальнейшем защитили диссертации (Воробьев А.А., Круглов С.П., Белостоцкий С. Л. , Г.Д.Алхазов, В.П. Коптев, Ю.Н. Новиков и многие другие) и стали учёными мирового уровня.
- Были разработаны и прошли отладку уникальные приборы, которые затем были использованы для экспериментов на других более крупных ускорителях мира (ИКАР, установка для мю - катализа и т. д.).

Продолжение

- На Гатчинском ускорителе получены рекордные по точности измерения свойств частиц, которые вошли в мировые справочники по данным элементарных частиц (время жизни пи – плюс мезона, масса пи- мезона, новые изотопы).
- - На синхроциклотроне проводились совместные эксперименты с физиками США, Японии, Италии и т. д. В период до перестройки ускоритель работал на физический эксперимент по 6000 часов в году
- - Коллектив ускорительного отдела разработал и запустил в строй изохронный циклотрон на 80 МэВ для производства медицинских изотопов, для лечения рака глаза и поверхностных форм рака

После 50 лет успешной деятельности СЦ ПИЯФ остается одним из активно действующих в России протонных ускорителей, работающих по 2000 – 2500 часов в году. На ускорителе выполняется оригинальная и конкурентоспособная программа исследований в области ядерной физики, физики элементарных частиц и прикладных исследований.

Пучки синхроциклотрона востребованы и используются многими организациями страны. Существуют хорошие перспективы расширения объёма этих работ по радиационному тестированию электронных компонентов и готовых изделий радиоэлектроники, протонной терапии, по исследованию редких радиоактивных изотопов и т. д.



СОТРУДНИКИ УСКОРИТЕЛЬНОГО ОТДЕЛА ПИЯФ - 2017

Наши проблемы.

- 50 лет – это не молодость и не зрелость ускорителя, а глубокая старость. Несмотря на выполняемые без установки ускорителя работы по модернизации основных систем, и обеспечение их работоспособности требуется провести**
- капитальный ремонт системы водоохлаждения, вакуумной системы, системы электропитания и т. д.**
 - вливание молодых кадров, пока есть старики, которые могут передать свой богатый опыт**



НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ЭКБ И СИСТЕМ НА НЕЙТРОННЫХ ПУЧКАХ С АТМОСФЕРОПОДОБНЫМ СПЕКТРОМ

ORNL (Ок-Ридж, США)

- действующий нейтронный источник SNS: протоны 1 ГэВ
- **испытательный стенд HETS (High-Energy Neutron Test Station)**
- ЭКБ: сечение пучка 20см x 20см, поток нейтронов $10^4 - 10^7$ н/см²/сек
- блоки ЭО: сечение пучка 1м x 2м, поток нейтронов $10^2 - 10^4$ н/см²/сек
- стоимость проекта – до 100 млн USD
- срок создания – до 5 лет

RAL (Резерфордская Лаборатория, Чилтон, Великобритания)

- действующий нейтронный источник ISIS: протоны 800 МэВ, W/Ta мишень
- действующий испытательный стенд VESUVIO
- **испытательный стенд ChipIR (Chip Irradiation)**
- ЭКБ: сечение пучка 20см x 20см, поток нейтронов $10^4 - 10^7$ н/см²/сек
- блоки ЭО: сечение пучка 1м x 1м, поток нейтронов $\leq 10^7$ н/см²/сек
- стоимость проекта – 15 млн фунтов стерлингов
- установка создана, находится в процессе аттестации и лицензирования

CIP (Пекин, КНР)

- нейтронный источник CSNS: протоны 1.6 ГэВ, 25 Гц, 500 кВт, W/Ta мишень
- **испытательный стенд NIS (Neutron Irradiation Spectrometer)**
- ЭКБ: поток нейтронов до 2.3×10^6 н/см²/сек
- начало работы – 2018

FACILITIES FOR RADIATION TESTING WITH ATMOSPHERIC – LIKE NEUTRON SPECTRUM

- Los Alamos National Laboratory, New Mexico, USA
Weapons Neutron Research Facility
ICE House 'Irradiation of Chips and Electronics'

- Tri-University Meson Facility, Vancouver, Canada
Neutron Irradiation Facility

- Uppsala University, Sweden
Theodor Svedberg Laboratory
ANITA Irradiation facility

- Vesuvio, ISIS at the Rutherford
Appleton Lab., Oxfordshire, UK
Neutron Irradiation Facility

- Research Center for Nuclear Physics
at Osaka University (RCNP), Japan

- Petersburg Nuclear Physics Institute, Gatchina
ISNP/GNEIS Neutron Irradiation Facility

