

84
16319

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ СССР

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

P9-84-641

ДЕВЯТОЕ
ВСЕСОЮЗНОЕ СОВЕЩАНИЕ
ПО УСКОРИТЕЛЯМ
ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

(Дубна, 16-18 октября 1984 года)

АННОТАЦИИ ДОКЛАДОВ

Дубна 1984

ПОВЫШЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАХВАТА В ЛИНЕЙНОМ
УСКОРИТЕЛЕ ИОНОВ С ФОКУСИРОВКОЙ АКСИАЛЬНО-
СИММЕТРИЧНЫМ ВЫСОКОЧАСТОТНЫМ ПОЛЕМ

Ю.К.Батыгин, В.Д.Данилов, А.А.Ильин

Московский инженерно-физический институт

Приведены результаты исследования возможности повышения ускоренного тока в линейном ускорителе ионов с фокусировкой аксиально-симметричным ВЧ полем. Получены и проанализированы нелинейные уравнения движения ионов в поле, представленном в виде совокупности пространственных гармоник. Показано, что выбор электромагнитного поля с определенным гармоническим составом позволяет обеспечить одновременную поперечную и продольную устойчивость движения частиц пучка при большой величине коэффициента захвата. Результаты, полученные на основе разработанной теории, хорошо совпадают с результатами численного моделирования в широком диапазоне изменения характеристик ускоряющего канала.

Приведены зависимости, характеризующие влияние гармонического состава поля на основные параметры ускоренного пучка. Разработаны рекомендации по выбору структуры ускоряющего канала с высоким коэффициентом захвата. Рассмотрен вариант начальной части ускорителя протонов на длине волны 2 м с энергией инжекции 100 кэВ и коэффициентом захвата $\sim 80\%$.

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ
РАБОТЫ ДВУХПУЧКОВОГО РЕЗОНАТОРНОГО УСКОРИТЕЛЯ
М.Ф.Ворогушин

Научно-исследовательский институт
электрофизической аппаратуры им.Д.В.Ефремова

М.А.Черногубовский

Ленинградский электротехнический институт
им.В.И.Ульянова(Ленина)

Для повышения КПД и средней мощности пучка в резонаторных ускорителях весьма перспективной представляется двухпучковая

схема с использованием трансформирующих свойств резонатора, в котором один из пучков является источником ВЧ-мощности, а второй - ускоряется.

При некоторых допущениях, не снижающих общности задачи, удается получить замкнутую систему уравнений, описывающую стационарный процесс взаимодействия двух пучков в резонаторе. Решение системы позволяет определить условия устойчивой работы двухпучкового ускорителя, а также найти основные соотношения между электродинамическими характеристиками резонатора и параметрами пучков, при которых реализуются режимы максимального КПД или оптимального темпа ускорения частиц.

Результаты получены в аналитическом виде, допускающем ясную физическую интерпретацию процессов.

ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ СИСТЕМА НАКОПИТЕЛЯ ВЭПП-4
НА ЭНЕРГИЮ 5,3 ГэВ И ТОК 2 x 10 МА

Арбузов В.С., Беломестных С.А., Вещеревич В.Г.,
Волков В.Н., Горнякер Э.И., Карлинер М.М., Крутихин С.А.,
Куркин Г.Я., Лебедев Н.Н., Невзоров Ю.С., Петров В.М.,
Пилян А.М., Харитонов Е.Н., Шехтман И.А.

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

Описано устройство, даны характеристики и результаты эксплуатации резервной ВЧ системы ВЭПП-4, состоящей из шести ускоряющих резонаторов, пять из которых питаются от отдельных мощных ВЧ каскадов на триодах ГИ-50А, установленных непосредственно у резонаторов. Перевод их на ламповое ВЧ питание был произведен в 1982 году в связи с недостаточной надежностью высоковольтного источника питания гирокон.

Система управления обеспечивает регулирование мощности каскадов, их настройку и защиту, а также совместную работу с отдельным ВЧ генератором, питающим шестой резонатор.

Приведены данные о допустимых режимах ламп ГИ-50А, работающих на частоте 181 МГц, при максимальной суммарной непрерывной мощности 200 кВт.

СВЕРХПРОВОДЯЩИЙ НИОБИЕВЫЙ РЕЗОНАТОР - ПРОТОТИП ЯЧЕЙКИ УСКОРЯЮЩЕЙ СТРУКТУРЫ

Анашин В.В., Бишко С.И., Вещеревич В.Г., Волков В.Н.,
Карлинер М.М., Ковалев К.С., Персов Б.З., Попов А.Т.,
Седляров И.К., Фадеев Е.И.

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

Рассмотрена возможность использования сверхпроводящей би-периодической структуры в качестве ускоряющей системы электрон-позитронных накопителей и ускорителей.

В работе описаны конструкция, последовательность изготовления и результаты испытаний резонаторов-прототипов ячейки ускоряющей структуры. Резонаторы изготовлены из 4-мм листового ниобия технической и высокой чистоты с использованием электронно-лучевой сварки, имеют сфероидальную форму, возбуждаются на частоте 1180 МГц, тип колебаний E_{010} . Достигнутые параметры резонаторов - добротность $4,7 \cdot 10^8$ и эффективное ускоряющее поле 3,5 МВ/м предполагается повысить за счет усовершенствования обработки поверхности. Для определения поверхностных дефектов используется автоматизированная система термоконтроля, позволяющая измерить распределение температуры на поверхности резонатора.

ОБЩАЯ СТРУКТУРА И ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ БУСТЕРНЫМ СИНХРОТРОНОМ ИФВЭ

В.П.Антипов, С.И.Балакин, С.Л.Богатырев, В.Л.Брук,
В.П.Воеводин, П.В.Мамаков, Ю.В.Миличенко, В.Г.Рыбаков,
А.Н.Сытин, В.Г.Тишин

Институт физики высоких энергий, Серпухов

Система управления (СУ) бустерным синхротроном ИФВЭ базируется на трех мини-ЭВМ ЕС-1010 и распределенных по аппаратуре микро-ЭВМ.

Одна мини-ЭВМ используется исключительно для развития программного обеспечения микропроцессоров. Обслуживание технологических систем и пульта управления осуществляют микропроцессоры и двухмашинный комплекс ЕС-1010. Каждая из мини-ЭВМ допускает ведение диалога с четырех распределенных по различным залам терминалов и может выполнять до четырех прикладных программ, которые оформляются в виде перезагружаемых двоичных модулей. С одного терминала можно загрузить и вести интерактивную работу более чем с одной программой. Организация базы данных, содержащей фиксированные физические характеристики оборудования, допускает подключение к каждой из двух мини-ЭВМ до четырех ветвей по семь каркасов аппаратуры стандарта ВЕКТОР-СУММА, в каждом каркасе может быть размещена микро-ЭВМ. В настоящее время двадцать каркасов распределены по залам электроники технологических систем, и обмен с ЭВМ осуществляется по параллельным линиям со скоростью 150 Кслов/с на расстояния до 80 метров. В СУ функционирует семь микро-ЭВМ.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ДИАГНОСТИКИ РАБОТСПОСОБНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ
АСУ ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ МЕЗОННОЙ ФАБРИКИ

Грицына О.Я., Киселёв Ю.В., Заманский Г.Б.

Институт ядерных исследований АН СССР, Москва

Эффективность и качество работы линейного ускорителя мезонной фабрики существенно зависит от работоспособности его автоматизированной системы управления, создаваемой на базе ЭВМ типа СМ-4 и специализированных устройств, в состав которых входят: устройства связи с объектом (УСО), устройства ввода/вывода (УВВ), устройства синхронизации (УС), и т.д. Для проверки работоспособности серийного оборудования (ЭВМ) имеется стандартный набор тестов. В данном докладе освещаются вопросы создания тестового обеспечения специализированного оборудования АСУ (УСО, УС). В основу метода автоматизированной проверки работоспособности указанных устройств заложен принцип взаимодиагностики отдельных функциональных блоков. При этом связи между различными блоками реализуются с помощью специального блока коммутации. Разработанная методика автоматизированной диагностики позволяет существенно сократить время проведения пуско-наладочных и профилактических работ.

ИСПЫТАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
РЕЗОНАНСНОЙ ЧАСТОТОЙ РЕЗОНАТОРА В РЕЖИМЕ ПОДГОТОВКИ
К ВВОДУ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ МОЩНОСТИ НА СТЕНДЕ ИНИ АН СССР

А.С.Ковалишин, В.С.Копин, А.В.Полтораков, Г.И.Ямщиков

Институт ядерных исследований АН СССР, Москва

В докладе приведены результаты экспериментального исследования системы автоматического управления резонансной частотой резонатора в режиме прогрева и стабилизации его температуры и частоты посредством изменения расхода воды, протекающей через электронагреватель и резонатор.

Проведено экспериментальное сравнение работы системы с использованием классического аналогового и разрывного управления. Показана целесообразность введения скользящих режимов как в системах управления инерционными нелинейными объектами, так и для получения информации о таких объектах.

Представлена структурная схема системы и схема регулятора. Отмечено высокое качество стабилизации параметров резонатора.

Рассмотрен вопрос расширения динамического диапазона системы методами автоматического регулирования.

СИСТЕМЫ НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ ЧАСТОТ БЕТАТРОННЫХ
КОЛЕБАНИЙ НА НАКОПИТЕЛЯХ ВЭП-3, ВЭП-4

Н.И.Зиневич, С.И.Мишнев, А.Б.Темных, Е.И.Шубин

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

Описываются автоматизированные системы оперативного измерения частот бетатронных колебаний заряженных частиц в накопителях. Метод измерения основан на получении амплитудно-частотной характеристики поперечных колебаний частиц посредством анализа реакции пучка при воздействии на него синусоидального сигнала переменной частоты. Источником сигнала для раскачки поперечных колебаний частиц является быстродействующий программируемый синтезатор частоты. Управление работой синтезатора частоты и обработку сигнала реакции пучка осуществляет программируемый контроллер. Результаты измерений выводятся на графический дисплей и передаются в центральную ЭВМ, управляющую работой накопителя. Точность измерения частот бетатронных колебаний порядка одной тысячной от частоты обращения пучка в накопителе, время измерения не более секунды.

ПРИМЕНЕНИЕ 24-РАЗРЯДНОЙ МИКРО-ЭВМ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА КОМПЛЕКСЕ ВЭПП-4

Алешаев А.Н., Белов С.Д., Левичев Б.В.,
Пискунов Г.С., Протопопов И.Я., Тарарышкин С.В.

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

Дальнейшее развитие системы управления комплексом ВЭПП-4 связывается с применением 24-разрядных автономных контроллеров крейта, программно совместимых с управляющими ЭВМ Одра-1325. Контроллер выполнен на микропроцессорных секциях и выпускается в двух модификациях: с памятью 32 или 64К слов. Он эмулирует полностью систему команд ЭВМ Одра-1305, а также несколько дополнительных инструкций для эффективного взаимодействия с КАМАКом. На примере реализации подсистемы измерения частот бетатронных колебаний и системы мониторинга радиационной обстановки на комплексе обсуждаются требования, предъявляемые к ЭВМ, используемым в распределенных системах управления, а также недостатки популярных микро-ЭВМ, затрудняющие их применение в таких системах. Изложены основные принципы построения матобеспечения и организации примитивов для взаимодействия программ реального времени, работающих как в главной, так и в периферийных машинах.

УНИФИЦИРОВАННЫЕ СРЕДСТВА ДИАГНОСТИКИ ВЫВЕДЕННЫХ ПРОТОННЫХ ПУЧКОВ НА КАНАЛАХ УСКОРИТЕЛЯ ИФВЭ

Т.В.Гвахария, В.Н.Гресь, Ю.П.Давыденко, А.Ф.Дунайцев,
С.Н.Лашинский, В.С.Селезнев, В.А.Сенько, Ф.М.Солодовник,
В.И.Терехов, Б.Б.Филимонов

Институт физики высоких энергий, Серпухов

Рассматриваются унифицированные в ИФВЭ средства диагностики выведенных протонных пучков с интенсивностью 10^{10} - $3.5 \cdot 10^{12}$ протонов/цикл на каналах ускорителя 70 ГэВ. В их состав входят такие системы наблюдения за пучком, как, например, системы измерения положения и профилей, интенсивности и потерь пучка. Для регистрации частиц созданы следующие детекторы: 16-канальные 2-координатные камеры вторичной эмиссии с пространственным разрешением 1×10 мм и малым ($4,2$ мг/см²) количеством вносимого в пучок вещества, стабильные

отпаянные камеры вторичной эмиссии с вакуумом 10^{-5} Па, трансформаторы тока пучка, смонтированные в секции стандартного вакуумпровода и ионизационные камеры для измерения потерь, надеваемые на ионопровод, с геометрией, близкой к 2П.

Для систем наблюдения за пучком созданы регистрирующие электронные блоки, позволяющие перекрыть весь диапазон токов детекторов ($3 \cdot 10^{-11}$ - $6 \cdot 10^{-6}$ А) за время вывода 20 нс+1 с, и налажено их мелкосерийное производство. На их основе разработана организация распределенной вдоль канала (длиной до 500 м) системы сбора информации о положении и профилях пучка с возможностью эффективного тестирования аппаратуры, основой которой являются специальные каркасы предварительной электроники. Приводится типовая блок-схема систем измерения параметров пучков с помощью автономного каркасного контроллера.

Рассмотренный набор унифицированной аппаратуры позволил организовать диагностику интенсивных протонных пучков комплекса каналов ускорителя ИФВЭ. Количество информационных каналов, эксплуатируемых в настоящее время, достигает 1000.

АППАРАТУРА ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ АНАЛОГОВОЙ ИНФОРМАЦИИ ПО ЛИНИЯМ ВОЛС В ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

М.А.Воеводин, Ю.И.Романов

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Описана радиоэлектронная аппаратура для передачи аналоговых сигналов с помощью волоконно-оптических линий связи (ВОЛС), эффективно работающих в интенсивных полях электромагнитных помех, создаваемых электрофизическими установками и служащих для контроля устройств, находящихся под высоким электрическим потенциалом.

Аппаратура позволяет передать информацию с телевизионной камерой, установленной на высоковольтном терминале ионных источников, в полосе частот от 20 Гц ... 5 МГц с использованием жгутовых ВОЛС, а также аналоговых сигналов с частотой до 10 кГц с применением широтно-импульсной модуляции и моноволоконных оптических кабелей длиной до нескольких сотен метров.

Программное обеспечение АСУ ПС основано на специально разработанной упрощенной, но быстрой и гибкой операционной системе и достаточно мощной интерактивной интерпретационной системе, включающей все необходимые средства для программирования прикладных задач, в том числе доступ к периферийным устройствам удаленной ЭВМ, инициацию удаленных задач, доступ к удаленным библиотекам программ.

В работе приводятся основные принципы организации АСУ ПС, а также описывается реализованная структура аппаратных и программных средств.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ РАЗРЕЗНОГО МИКРОТРОНА НИИЯФ МГУ

БЕЛЕНЬКИЙ О.В., ГРИБОВ И.В., ШВЕДУНОВ В.И., ШУМАКОВ А.В.
Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, Москва

Практика создания автоматизированных систем управления ускорителями показывает, что уже на стадии проектирования необходимо учитывать ряд общих требований к узлам ускорителя и системе управления, без которых последующая автоматизация управления и контроля окажется неэффективной. Анализ этих требований и рассмотрение существующих типов структур автоматизированного управления приводит к выводу о целесообразности создания централизованной многоуровневой иерархической АСУ в сочетании с широким использованием простейшего контроля и стабилизации параметров на максимально низшем уровне. В качестве основных технических средств реализации АСУ выбраны: ЭВМ типа СМ-4, микро-ЭВМ типа "Электроника-100" и аппаратура в стандарте КАМАК. Задачи, которые должна решать АСУ разрезного микротрона, заключаются в следующем:

- контроль за всеми основными параметрами ускорителя;
- вывод информации оператору о некоторых из этих параметров с возможностью их оперативного изменения;
- анализ аварийных ситуаций, обработка сбоев в самой системе управления;
- проверка пучка на стадии наладки ускорителя и при изменении режимов его работы.

Предлагается поэтапная реализация указанных выше задач. На первом этапе в основном решаются проблемы автоматизированного контроля. Это связано, в частности, с необходимостью обеспечить систему ускорителя датчиками с нормализованными выходными сигналами (аналоговыми и дискретными). Особо важную роль играют датчики пучка (его положение, фаза, размеры, интенсивность), они могут быть выполнены на основе СВЧ резонаторов. Датчики и местные контуры автоматического регулирования и стабилизации обеспечивают контроль выхода параметров ускорителя за заданные границы и выработку соответствующего сигнала прерывания. АСУ ускорителя на первом этапе наряду с задачами контроля обеспечивает простейший анализ сигналов прерывания.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ АЗИМУТАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ПУЧКА

А.Б.Васюкин, Э.А.Меркер, С.Е.Сидоров

Институт физики высоких энергий, Серпухов

Описывается прибор, предназначенный для измерения адиабатически изменяющихся в процессе ускорения азимутальных (временных) параметров пучка. Работа прибора основана на стробоскопическом методе преобразования временного масштаба сигнала с датчика азимутальной структуры пучка. Информация представляется в цифровом виде, имеется возможность сопряжения устройства с ЭВМ. Приводится описание функциональной схемы прибора, сообщаются основные его технические характеристики.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ НАКОПИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ "СИБИРЬ-1"

В.М.Боровиков, Ю.И.Голубенко, Б.А.Гудков, А.С.Калинин, В.В.Каргальцев, В.Н.Корчуганов, Э.А.Купер, Е.Б.Левичев, А.В.Леденев, А.С.Медведко, А.Н.Мезенцев, В.И.Нифонтов, А.Д.Орешков, В.Ф.Пиндурин, А.Н.Путьмаков, В.В.Репков, А.С.Соколов, Н.П.Уваров.

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

В 1983 году в ИАЭ им. И.В.Курчатова был осуществлен запуск первой очереди специализированного источника синхротронного из-

лучения — накопителя электронов "Сибирь-1" на энергию до 450 МэВ, разработанного и изготовленного в ИЯФ СО АН СССР. Быстрому запуску накопителя во многом способствовала полная автоматизация управления и контроля систем комплекса "Сибирь-1".

Система управления и контроля накопителя "Сибирь-1" состоит из двух периферийных ЭВМ Электроника-60 (ПМ), центральной ЭВМ СМ-4 (ЦМ) и аппаратуры управления и контроля, выполненной в стандарте КАМАК. Одна ПМ непосредственно управляет электронно-оптическим каналом инжекции пучка из линейного ускорителя, другая — накопителем. Координацию работы комплекса в целом, хранение и обработку больших объемов информации обеспечивает ЦМ. В системе имеется более 100 каналов управления и около 700 каналов контроля.

Программное обеспечение системы работает под операционными системами RSX -IIS для ПМ и RSX -IIM для ЦМ. Наличие пакета подпрограмм, написанных для каждого исполнительного устройства на ассемблере MACRO -II, позволило минимизировать время реакции системы и объем занимаемой памяти.

СИСТЕМА ТЕРМОКОНТРОЛЯ КОМПЛЕКСА НАКОПИТЕЛЕЙ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ВЭПП-4

А.Г.Бамбуров, М.М.Бровин, Б.А.Гудков, Б.А.Довженко,
С.И.Мишнев

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

Описана система термоконтроля комплекса накопителей заряженных частиц ВЭПП-4. Система укомплектована 128-канальными измерителями температуры. Суммарное количество точек контроля — около 1000. Каждый измеритель имеет в своем составе аналоговый мультиплексор, АЦП, ЗУ и последовательный интерфейс. Данные накапливаются в ЗУ и передаются в ЭВМ. В качестве датчиков использованы транзисторы типа КТ904. Защита по температуре выполнена на аппаратурном уровне. Программное обеспечение системы реализовано на ЭВМ "ОДРА-1325".

Система обеспечивает безаварийную эксплуатацию комплекса ВЭПП-4 с 1978 года.

ИЗМЕРЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ВСТРЕЧНЫХ ПУЧКОВ НА НАКОПИТЕЛЕ ВЭПП-2М С ПОМОЩЬЮ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО СПИРАЛЬНОГО ОНДУЛЯТОРА

И.Б.Вассерман, П.В.Воробьев, П.М.Иванов, Г.Я.Кезерашвили,
И.А.Кооп, В.И.Купчик, А.П.Лысенко, Е.А.Переведенцев,
А.А.Полунин, А.Н.Скринский, Ю.М.Шатунов

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

На накопитель ВЭПП-2М установлен сверхпроводящий спиральный ондулятор.

В работе приводятся характеристики излучения, особенности конструкции и параметры ондулятора, а также сообщается о результатах измерения радиационной поляризации электрон-позитронных встречных пучков с помощью процесса комптоновского рассеяния ондуляторных фотонов.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СВЕРХПРОВОДЯЩИМ МОДЕЛЬНЫМ СИНХРОТРОНОМ

Ефимов Л.Г., Колпаков И.Ф., Лобанов В.И., Маньяков П.К.,
Никитаев П.И., Парфенов А.Н., Пиляр А.В., Решетников Г.П.,
Слешнев В.М., Смирнов В.А., Сусова Г.М., Трачик К., Шелаев И.А.

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Описана система управления сверхпроводящим модельным синхротроном, создаваемым в ЛВЭ ОИЯИ. Система предназначена для сокращения времени наладки узлов ускорителя и обеспечения удобства его опытной эксплуатации.

Основные функции системы:

- автоматическое управления работой элементов магнитной оптики в цикле ускорения и контроль их состояния;
- измерение и контроль основных параметров ускорителя (токов, магнитов и линз, давления в монопроводе и в криостате, температур и т.п.);
- диагностика пучка ускоряемых частиц;
- обеспечение визуального представления данных и управления параметрами синхротрона с пульта.

УДАРНЫЕ МАГНИТЫ СИСТЕМ БЫСТРОЙ КОММУТАЦИИ ПУЧКА КОЛЬЦЕВОГО
ИНЖЕКТОРА ПРОТОННОГО СИНОТРОНА ИФВЭ

Аникев М.А., Артёмов А.П., Галкин Б.С., Герасимов В.П.,
Гордин В.И., Гусев О.А., ЕМЕЛЬЯНОВА И.А., Куликов С.И.,
Потехин С.П., Рождественский Б.В., Семерикова Е.А.,
Сливченок О.Н., Степанченко В.И., Титов В.А., Трофимов В.А.,
Хон А.Ю., Чуйко В.И., Шахов В.В.

Научно-исследовательский институт им. Д.В. Ефремова, Ленинград

Сообщается о создании систем быстрой коммутации пучка бустера ИФВЭ. Рассматриваются особенности устройства ударных магнитов типа линии задержки с ферритовым магнитопроводом и вакуумными конденсаторами, силовое оборудование и электронная аппаратура, обеспечивающие импульсные магнитные поля с индукцией до 0,07 Т, длительностью импульсов 0,15-10,0 мкс и с фронтами около 0,1 мкс.

МАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАКЕТОВ И БЛОКОВ
КОЛЬЦЕВОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТА БУСТЕРА ИФВЭ

П.В. Смирнов, Б.И. Тарасов, В.А. Титов

Научно-исследовательский институт электрофизической
аппаратуры им. Д.В. Ефремова, Ленинград

В докладе изложена методика измерения магнитных характеристик пакетов и блоков кольцевого электромагнита бустера с помощью длинных индукционных гармонических катушек.

Приведены результаты предварительного сравнения пакетов, из которых собирались заворачивающие блоки, по величине усредненной индукции. По этим результатам проводилась компоновка пакетов в блоки так, чтобы различия последних в среднем были минимальными.

Приводятся результаты окончательного сравнения заворачивающих блоков по величине магнитной индукции, а фокусирующих и де-

фокусирующих блоков по величине градиента магнитного поля. Средне-квадратичные разбросы блоков в своих группах не превышают допустимых значений.

Представлены результаты исследования гармонического состава магнитного поля блоков в рабочей области, измерения эффективных длин и поворота медианных плоскостей относительно базовых поверхностей. Дается оценка точности приведенных результатов.

ОСОБЕННОСТИ МАГНИТНОЙ СТРУКТУРЫ НАКОПИТЕЛЯ ПРОТОНОВ
МОСКОВСКОЙ МЕЗОННОЙ ФАБРИКИ

Ю.П. Севергин, И.А. Шукейло

Научно-исследовательский институт электрофизической
аппаратуры им. Д.В. Ефремова, Ленинград

В рамках проекта накопителя протонов Московской мезонной фабрики разработана кольцевая магнитная структура. Её главная отличительная особенность - отсутствие зависимости периода обращения частиц от импульса в линейном и квадратичном по $\Delta p/p$ приближениях, а также от эмиттанса.

Это обстоятельство дает возможность длительное время удерживать в циклическом движении короткие сгустки без применения продольного В.Ч. поля.

В докладе обосновывается выбор компоновочной схемы накопителя протонов. Исследуются причины азимутального размытия сгустков в окрестности критической точки вследствие нелинейных эффектов и определяются условия их компенсации.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ВАКУУМНОЙ КАМЕРЫ БЭП

П.В. Воробьев, В.В. Каргальцев, И.А. Кооп, А.А. Михайличенко,
Е.А. Переведенцев, А.Н. Скринский, Ю.М. Шатунов, Л.М. Шеголев

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

В накопителе БЭП предполагается отрабатывать методику получения электронного пучка с параметрами, соответствующими проекту

ВЛЭПП: интенсивность 10^{12} частиц, длина сгустка ≤ 10 см, малый эмиттанс $\varepsilon_z = 10^{-8}$ см·рад, $\varepsilon_x = 6 \cdot 10^{-6}$ см·рад, энергетический разброс 10^{-3} . В связи с этим особое внимание уделено минимизации взаимодействия пучка с полями, индуцированными на неоднородностях вакуумной камеры.

В конструкции вакуумной камеры накопителя БЭП везде, где это возможно, сохранено сечение стандартного цельно-алюминиевого участка камеры, проходящего через магнит и квадрупольный дублет. Для тех участков, где не удается сохранить стандартное сечение, произведено изучение их электромагнитных свойств в области частот до 8 ГГц.

Измерения проводились с помощью автоматизированного СВЧ-стенда, управление элементами которого и обработка информации сделаны на базе мини-ЭВМ Электроника-60, связанной с центральной ЭВМ Электроника-100.

В докладе описана конструкция вакуумной камеры БЭП, приведены оценки влияния типичных неоднородностей на динамику пучка, обсуждается методика стендовых измерений электромагнитных свойств отрезков вакуумной камеры и приводятся результаты этих измерений.

ВАКУУМНАЯ СИСТЕМА НАКОПИТЕЛЯ "БЭП"

В.В.Анашин, М.С.Гильгенгорн, И.А.Кооп, В.Н.Осипов, В.В.Пай,
Э.М.Трахтенберг, Г.М.Черных, Ю.М.Шатунов, Л.М.Щеголев

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

Описана принципиальная схема и основные конструктивные элементы вакуумной системы нового накопителя ИЯФ СО АН СССР - "БЭП".

Вакуумная система состоит из 12 элементов периодичности, каждый из которых включает в себя вакуумную камеру поворотных магнитов и квадрупольных линз и блок прямолинейного промежутка.

Вакуумная камера эллиптического сечения изготовлена из алюминиевого сплава АМЦС методом горячего прессования, наружная стенка с отверстием для охлаждающей жидкости является распределенным приемником СИ.

В промежутках для замыкания пролетного пространства по высокой частоте устанавливается перфорированная трубка, повторяющая сечение вакуумной камеры, а также размещаются магниторазрядный и титановый сублимационный насосы и электроды, позволяющие проводить тренировку тлеющим разрядом вакуумной системы" *in situ*".

ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ЛИНЗЫ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА С ЖИДКИМ ЛИТИЕМ

Б.Ф.Баянов, Т.А.Всеволожская, Ю.Н.Петров,
Г.И.Сильвестров

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

В работе приводится анализ условий теплоотвода и механических напряжений от теплового расширения лития в цилиндрических линзах большого диаметра и результаты экспериментального исследования амплитуд и времени релаксации давления, возникающего в линзах при различной геометрии и режимах работы. Показано, что с точки зрения механических напряжений в системе наилучшие условия обеспечиваются при работе с расплавленным литием, позволяющей одновременно решить проблему теплоотвода в линзах большого диаметра посредством прокачки жидкого лития через систему, включающую насос и теплообменник. Описывается конструкция линз и вспомогательного оборудования и результаты испытаний системы с циркулирующим жидким литием.

МНОГОГЕРЦЕВЫЕ КОНУСНЫЕ ЛИНЗЫ С ЖИДКИМ ЛИТИЕМ ДЛЯ ФОКУСИРОВКИ ПОЗИТРОНОВ НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ

Б.Ф.Баянов, Т.А.Всеволожская, Л.Л.Данилов,
Г.И.Сильвестров

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

Рассматривается возможность применения литиевых линз, расположенных непосредственно на выходе конверсионной мишени, для

четвертьволновой трансформации эмиттанса позитронного пучка низкой энергии с последующим доускорением его в линейном ускорителе с сопровождающим продольным магнитным полем. Показано, что оптимальным является применение для этой цели линз конической формы с переменным вдоль оси градиентом и светосилой более 2 стерadian. Рассматриваются их оптические свойства и преимущества по сравнению с адекватными цилиндрическими линзами. Описывается конструкция линзы с циркулирующим жидким литием и результаты ее испытаний на частоте более 50 Гц.

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЦЕМЕНТНОЙ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИИ ИМПУЛЬСНОГО МАГНИТА

В.В.Корневский, Е.Б.Сугак, Л.И.Федоренко (Московский инженерно-строительный институт им.В.В.Куйбышева)

Рассматривается конструкция импульсного магнита, которая включает в себя замкнутые криволинейные контуры электроизоляции и кожухи со сложными условиями контакта между ними. В процессе эксплуатации в цементной изоляции возникает напряженное состояние, которое может привести к её механическому разрушению. Задача расчета этих контуров является статически неопределимой, пространственной, контактной, динамической.

На основании экспериментального исследования модели магнита поляризационно-оптическим методом выбрана расчетная схема в виде бесшарнирной арки. Как было показано, расчет такой арки не зависит от физических констант материала и поэтому одинаково пригоден как для расчета модели, так и для расчета натуральной конструкции. На основании проведенных расчетов электроизоляции даются практические рекомендации по конструкции импульсного электромагнита.

СИСТЕМА МЕДЛЕННОГО ВЫВОДА ПРОТОНОВ ИЗ УСКОРИТЕЛЯ ИФВЭ С МАГНИТАМИ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ

Ю.М.Адо, Э.А.Людмирский, А.А.Наумов, М.А.Холоденко

Институт физики высоких энергий, Серпухов

Для системы медленного вывода пучка из ускорителя ИФВЭ разработаны и введены в эксплуатацию отклоняющие магниты с токовой перегородкой (септум-магниты), в которых магнитопроводы и обмотки вынесены **из вакуумного объема**.

Септум-магниты характеризуются высокой надёжностью в эксплуатации, возможностью их точной юстировки относительно пучка ускоренных частиц и низким газоотделением в вакуумный объём при давлениях остаточного газа вплоть до $1,35 \cdot 10^{-8}$ Па.

Система медленного вывода с магнитами новой конструкции отработала $9 \cdot 10^5$ циклов.

Длительность выведенного пучка протонов достигала 0,8 с при достаточно высокой эффективности вывода и удовлетворительном качестве пучка.

СТАБИЛИЗАЦИЯ ЭНЕРГИИ РЕЗОНАНСНОГО КОНТУРА ЭЛЕКТРОМАГНИТА ЭКУ-6 ПРИ ОДНОТАКТНОЙ ИМПУЛЬСНО-РЕЗОНАНСНОЙ СХЕМЕ ПОДПИТКИ

В.П.Гончаренко, А.П.Лебедев, Н.С.Резчикова

Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры им.Д.В.Ефремова, Ленинград

Г.А.Мартirosян, К.А.Садоян

Ереванский физический институт

В плане подготовки эксперимента на ЭКУ-6 по ускорению тяжелых ионов, необходимо формирование сложного магнитного цикла повышенной стабильности. Так как формирование плато инжекции и вывода осуществляется импульсной коммутацией цепи тока электромагнита, то возникают быстрые возмущения (в течение периода) напряжения резонансного контура. В докладе рассмотрена однотоактная импульсно-резонансная схема подпитки резонансного контура, с использованием импульсной стабилизации его энергии за счет регулирования фазы подпитки.

АППАРАТУРА ДЛЯ МАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

ДИПОЛЕЙ И КВАДРУПОЛЕЙ УНК

В.Т.Ивкин, И.В.Мозин, А.В.Никифоровский, Ю.М.Федоришин
Научно-исследовательский институт электрофизической
аппаратуры им. Д.В.Ефремова, Ленинград

При создании электромагнитной системы кольцевых ускорителей заряженных частиц большое внимание уделяется исследованию характеристик магнитного поля головных образцов электромагнитов. Допуски на неоднородность поля дипольных и нелинейность квадрупольных электромагнитов ускорительно-накопительного комплекса (УНК) составляют $2 \cdot 10^{-4}$, что требует создания прецизионной аппаратуры и специальных методик, обеспечивающих проведение измерений с погрешностью не хуже $1 + 2 \cdot 10^{-5}$.

Большой объем измерительной информации (более 10 тысяч точек на магнит) и сложность математической обработки результатов делают необходимой автоматизацию магнитных измерений.

Авторами разработан комплект аппаратуры, обеспечивающей высокую точность и производительность измерений пространственной конфигурации магнитного поля. Управление аппаратурой и математическая обработка результатов осуществляются с помощью микро-ЭВМ. Аппаратура выполнена в стандарте КАМАК.

С помощью описанной аппаратуры проведены исследования неоднородности магнитного поля головного образца дипольного магнита I-й ступени УНК.

Погрешность измерения мультипольных компонент неоднородности поля не превышает 10^{-5} .

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ПОЛЕ ПРЕЦИЗИОННЫХ МАГНИТОВ

Н.И.Дойников, С.Е.Сычевский, В.А.Титов

Научно-исследовательский институт
электрофизической аппаратуры им. Д.В.Ефремова, Ленинград

Описывается методика численного моделирования пространственного магнитного поля прецизионных магнитов с использованием моди-

фицированного скалярного потенциала, позволяющая проводить анализ конструкций со сложной формой отгиба катушки на лобовой части магнитопровода.

В качестве примера, характеризующего точность, приведен расчет лобовой части дипольного магнита первой ступени УНК, сплиттер-магнита ЭКМФ. Для дипольного магнита УНК выполнено сравнение с данными измерений. Моделирование выполнялось на основе вычислительной программы, разработанной в НИИЭФА им. Д.В.Ефремова.

СИСТЕМА ЗАРЯДКИ ЕМКОСТНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ В МОЩНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ГЕНЕРАТОРАХ С ПЛАВНЫМ НАГРУЖЕНИЕМ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

В.Г.Волохов, Г.И.Сильвестров, А.Д.Чернякин

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

Для мощных импульсных генераторов с емкостными накопителями со средней потребляемой мощностью мегаваттного диапазона, работающих на частотах повторения, отличных от частоты питающей сети, требуются зарядные устройства с нагружением сети постоянной мощностью. Это связано с требованием ГОСТа I3109-67, определяющего допустимые значения и пределы изменения показателей качества электроэнергии.

В работе приводятся результаты испытаний модуля зарядного устройства со средней мощностью 100 кВт на основе тиристорных инверторов, позволяющего обеспечить равномерное нагружение сети постоянной мощностью. Описаны его электротехнические и электронные компоненты и режимы работы.

SWEEPING —МАГНИТЫ ДЛЯ КОЛЬЦЕВОЙ РАЗВЕРТКИ ПРОТОННОГО ПУЧКА ПО МИШЕНИ

В.М.Барбалин, Г.И.Сильвестров, А.Д.Чернякин

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

Для отработки методов устранения теплового разрушения мишени при работе с интенсивными пучками высоких энергий разрабатывается система быстрой кольцевой развертки пучка по мишени, состоящая из 4 магнитов с чередующимися взаимно перпендикулярными полями, которые будут расположены перед литиевой линзой, фокусирующей протонный пучок в размер менее миллиметра на мишенном стенде ИФЭЭ.

Обосновывается выбор схемы и параметров магнитов, приводятся результаты исследования поведения шихтованных магнитопроводов на частотах более 200 кГц и формирования ими полей в одновитковых магнитах при индукциях 2 Т и более. Описываются конструкции радиационно-стойких магнитов и согласующих высоковольтных трансформаторов, технология изготовления шихтованных магнитопроводов из 70-микронного железа с высоким коэффициентом заполнения и системы питания магнитов на основе тира-игнитронных вентилях.

ПРИМЕНЕНИЕ ЦЕМЕНТНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ РАДИАЦИОННО-СТОЙКИХ ИМПУЛЬСНЫХ МАГНИТОВ

Л.Л.Данилов, Г.И.Сильвестров, А.Д.Чернякин

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

В.В.Корневский, Е.Б.Сугак

МИСИ им.Куйбышева, Москва

В работе приводятся результаты исследований возможности применения цементного вяжущего в качестве силовой высоковольтной изоляции в радиационно-стойких импульсных магнитах. Проведены

исследования и выбор типов цементов по их электрическим, механическим и технологическим свойствам. Обосновывается выбор конструктивной схемы одновитковых магнитов с потенциальным магнитопроводом и объемным обжатием цементной изоляции. Приводятся результаты испытаний такой изоляции в условиях импульсных нагрузок на миллионы циклов на силовой модели магнита с подъемом поля до 10 Т. Описывается принятая в результате этих исследований конструкция магнитов, технология их изготовления и результаты испытаний модели рабочего варианта магнита.

МОЩНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ ИСТОЧНИК НА ТИРИСТОРАХ ДЛЯ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

И.В.Казарезов, А.Ф.Серов, Ю.Ф.Токарев, В.Д.Юдин

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

В работе рассматривается один из вариантов генератора для питания импульсных элементов программы ВЛЭШ Института ядерной физики.

Описывается тиристорный коммутатор на ток в импульсе до 10 кА при длительности 22 мкс и максимальном напряжении 15 кВ.

Описан новый способ управления простым зарядным устройством, обеспечивающий высокую стабильность напряжения на накопительной емкости при времени заряда менее 0,1 с.

Приводятся результаты испытания источника совместно с импульсным ускорителем типа ЭЛИТ-1.

РАСЧЕТ ТРЕХМЕРНЫХ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ С ЖЕЛЕЗОМ

М.М.Карлинер, М.А.Тунов, Б.М.Фомель

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

В состав ускорительных комплексов нередко входят устройства, формирующие магнитные поля без аксиальной симметрии. К ним относятся квадрупольные линзы, змейки, сепараторы и т.п.

До последнего времени считалось, что расчет 3-мерных магнитных полей с учетом насыщения железа является настолько громоздким,

что его можно осуществить лишь на супер-ЭВМ. В настоящей работе показано, что применение интегрального метода [1] и разумная организация программы позволяют решать трехмерные нелинейные задачи магнитостатики на мини-ЭВМ типа "Электроника-100".

В данном интегральном методе отсутствует проблема граничных условий. Разбиению на элементы подвергаются шины с током и железо, а магнитное поле вычисляется только в заданных точках, например, вдоль траекторий заряженных частиц. Располагая набором трехмерных элементов (параллелепипеды, призмы, тетраэдры, кольца), можно достаточно точно аппроксимировать практически любую конфигурацию магнитной системы. Однако при разбиении на элементы необходимо учитывать факторы, влияющие на точность расчета магнитного поля: некорректность задачи и "качество" разбиения. Некорректность задачи поддается регуляризацией по Тихонову, а высокое "качество" разбиения достигается за счет опыта и использования априорных представлений о структуре магнитного поля в железе и вне его [2,3].

Приводятся примеры расчета конкретных магнитных систем и сравнение с магнитными измерениями.

Л и т е р а т у р а

1. A.G.A.M. Armstrong, C.J. Collie, N.J. Diserens, M.J. Newman, J. Simkin, C.W. Trowbridge. RL-75-066, 1975.
2. В.А.Дзюба, М.М.Карлинер, П.Б.Лисянский, Б.М.Фомель. Препринт ИЯФ 77-123, Новосибирск, 1977.
3. М.А.Тунов, Б.М.Фомель, Препринт ИЯФ 83-150, Новосибирск, 1983.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЗОНАНСНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ВАКУУМНОЙ КАМЕРЫ СИНХРОТРОНА

Богданович Б.Ю., Володин В.А., Каминский В.И., Образцов Н.В.,
Путкин Ю.М., Шальнов А.В.

Московский инженерно-физический институт

Доклад посвящен расчетно-теоретическому и экспериментальному исследованию высокочастотных характеристик резонансных неоднородностей вакуумной камеры синхротрона. Рассмотрены методы расчета электродинамических характеристик аксиально-симметричных резонансных неоднородностей. Разработан метод и реализующий его пакет при-

кладных программ для расчета ВЧ характеристик периодической цепочки резонансных элементов. Проведены расчеты ВЧ характеристик макетов типичных неоднородностей вакуумной камеры.

Описан экспериментальный стенд для определения структуры электромагнитных полей в неоднородностях вакуумной камеры методом малых возмущений в диапазоне частот 0,4...10,0 ГГц. Рассмотрены специфические особенности проведения измерений ВЧ параметров неоднородностей камеры. Приведены результаты измерений характеристик типичных неоднородностей - узла откачки ионопровода и емкостного датчика положения пучка. Экспериментальные данные сравниваются с расчетными.

МОДЕЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ УЛЬТРАРЕЛЯТИВИСТСКОГО СГУСТКА В НЕОДНОРОДНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ВАКУУМНОЙ КАМЕРЫ СИНХРОТРОНА

Богданович Б.Ю., Каминский В.И.,
Путкин Ю.М., Шальнов А.В.

Московский инженерно-физический институт

В докладе рассматривается метод модельных измерений потерь энергии ультрарелятивистского сгустка в неоднородных элементах вакуумной камеры. Суть метода заключается в моделировании сгустка видеопульсом той же формы и длительности, что и сгусток. Моделирующий импульс передается по проводнику, установленному в исследуемом элементе. Определение потерь энергии осуществляется по изменению амплитуды и формы видеопульса при прохождении через элемент.

В докладе приводится область значений параметров исследуемых элементов, в которой допустимо использование данного метода. Описан экспериментальный стенд, реализующий модельные измерения потерь энергии в элементах камеры, указаны особенности узлов стенда. Приведены результаты исследования макетного образца неоднородности камеры, экспериментальные результаты сравниваются с расчетными.

ЦИКЛИЧЕСКИЙ ИМПЛАНТАТОР ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ ДЛЯ ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Г.Н.Флеров, А.М.Андрианов, С.Л.Богомолов, Г.Г.Гульбекян,
А.И.Иваненко, Б.А.Кленин, И.В.Колесов, В.Б.Кутнер, А.М.Мордуев,
Р.Ц.Оганесян, К.И.Семина, В.А.Чугреев

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

В настоящее время в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ создается циклический имплантатор тяжелых ионов (ИЦ-100), предназначенный для производства ядерных фильтров. Имплантатор представляет собой четырехсекторный изохронный циклотрон с энергетическим параметром $E = 36 \frac{Z^2}{A} \text{ МэВ/нуклон}$, позволяющий получать ускоренные ионы $^{40}\text{Ar}^{7+}$ с энергией 1 МэВ/нуклон и интенсивностью 10^{12} с^{-1} .

В докладе приведены параметры имплантатора и конструктивные особенности исполнения его основных узлов.

ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННЫЕ НАКОПИТЕЛИ ИЯФ СО АН СССР - ИСТОЧНИКИ ИНТЕНСИВНЫХ ПУЧКОВ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ

Анашин В.В., Глушкин Е.С., Винокуров Н.А., Жоленц А.А.,
Корнюхин Г.А., Кооп И.А., Кулипанов Г.Н., Мироненко А.Л.,
Мишнев С.И., Панченко В.Е., Протопопов И.Я., Скринский А.Н.,
Трахтенберг Э.М., Тумайкин Г.М., Шатунов Ю.М., Шеромов М.А.

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

На базе накопителей ИЯФ СО АН СССР ВЭШ-2М, ВЭШ-3 и ВЭШ-4 создан Сибирский центр синхротронного излучения, где в настоящее время работает более 100 экспериментальных групп из различных городов Советского Союза и зарубежных стран. В докладе приводятся характеристики накопителей как источников синхротронного излучения, параметры специальных генераторов излучения

("змейки", ондуляторы), основные потребительские характеристики пучков синхротронного излучения. Дано состояние работ по использованию синхротронного излучения в различных исследованиях и технологиях. Обсуждаются проекты модернизации накопителей как источников СИ.

ЛИНЕЙНЫЕ УСКОРИТЕЛИ ЛЕГКИХ ИОНОВ ПРИКЛАДНОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ СТРУКТУР СО СПИРАЛЬНЫМИ ПОЛУВОЛНОВЫМИ ВИБРАТОРАМИ

Вальднер О.А., Гасс В.Ф., Глазков А.А.,
Коляскин А.Д., Крылов Ю.В., Леонов В.Н.,
Лобанов Н.Р., Лукашев А.А., Милованов О.С.

Московский инженерно-физический институт

В МИФИ предложены специальные ускоряющие структуры, содержащие полуволновые вибраторы с эквипотенциальными стержнями. На этой основе создается системный ряд линейных ускорителей для народного хозяйства и медицины, обладающих хорошими свойствами как высокочастотного характера (большой шунтовой импеданс, компактность структуры), так и в отношении ускорительных параметров (высокий захват и темп ускорения, малый эмиттанс). Энергия инжекции не критична, она может быть выбрана в пределах 30-100 кэВ. Выходная энергия для модульного варианта ускорителя может менять от 3 МэВ ($^1\text{H}^+$, $^1\text{H}^-$) и 15 МэВ/нукл. ($^2\text{H}^+$, H_2^+ , $^4\text{He}^{++}$) до 1,9 МэВ/нукл. ($^{16}\text{O}^+$, $^{32}\text{S}^{++}$) при импульсных токах соответственно 2,1 и 0,1 мА. Имеются резервы повышения импульсного тока пучка. Средний ток ускоренных ионов зависит только от режима высокочастотного генератора и может достигать десятков мкА.

Головной образец, линейный ускоритель протонов на энергию 3 МэВ, устанавливается и готовится к запуску в Институте металлургии АН СССР им.А.А.Байкова.

СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛЯ ОБЛУЧЕНИЯ С ПОВОРОТНЫМ МАГНИТОМ ДЛЯ УСКОРИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОНОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В РАДИАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

А.С.Иванов, В.Н.Овчинников, М.П.Свиньин, М.Т.Федотов
Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры им.Д.В.Фремова, Ленинград

В работе рассматриваются свойства системы формирования поля облучения ускорителей электронов с протяженным поворотным магнитом (СФМ) и ее преимущества по сравнению с традиционными системами формирования поля облучения. Определяется область параметров ускорителей, в которой использование такой системы представляется наиболее целесообразным. Рассматриваются возможные конструкции высоковольтных ускорителей с ее применением. Приводится описание ускорителя с СФМ и результаты его испытаний.

МОДУЛЬНАЯ УСКОРИТЕЛЬНАЯ ТРУБКА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ

Б.И.Альбертинский, А.Т.Ермолаев, В.И.Перегуд, М.П.Свиньин, В.М.Уродков, С.Г.Цепакин, Р.С.Чечиков

Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры им.Д.В.Фремова, Ленинград

Для создания ускорительной трубки, свободной от паров органических веществ, соединение металлических электродов с керамическими изоляторами производится диффузионной сваркой. С целью уменьшения технологических трудностей и повышения ремонтоспособности ускорительная трубка набирается из однотипных модулей высотой 200 мм (шаг секционирования по трубке - 12,5 мм). Отдельный зазор такого модуля без пробоев выдерживает постоянное напряжение в 60 кВ/см. На модуле получен градиент

напряжения 2,9 МВ/м. Проверка прохождения пучка электронов с током до 100 мА в интервале градиентов от 0,5 МВ/м до 2 МВ/м показала отсутствие влияния стыков модулей на прохождение пучка. Ускорительная трубка из 3 модулей эксплуатируется в промышленных условиях уже более 7000 ч.

Характерной особенностью таких трубок является отсутствие предпробойных явлений.

МАЛОГАБАРИТНЫЙ ВЧ-УСКОРИТЕЛЬ ЭЛЕКТРОНОВ ИЛУ-8 В МЕСТНОЙ ЗАЩИТЕ

Ауслендер В.Л., Горбунов В.А., Горнаков И.Д.,
Казакевич Г.М., Лившиц А.А., Панфилов А.Д.,
Поляков В.А., Черток И.Л.

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

Приводится описание конструкции и основных параметров малогабаритного ВЧ-ускорителя ИЛУ-8 в местной защите. Ускоритель предназначен для использования в радиационной установке модификации полиэтиленовой изоляции проводов малого сечения. Рассматривается дозное поле за пределами защиты в различных режимах работы ускорителя.

МОЩНЫЙ ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ ЭЛЕКТРОНОВ НА ЭНЕРГИЮ ДО 3 МэВ

Ауслендер В.Л., Лившиц А.А., Нехаев В.Е., Панфилов А.Д.,
Тувик А.А., Ческидов В.Г.

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

Описывается высокочастотный ускоритель электронов на энергию до 3 МэВ. Ускоритель импульсный. Длительность импульса 500 мксек, частота следования импульсов - 50 Гц, мощность пучка до 50 кВт. Ускоритель состоит из высокочастотного генератора, коаксиального резонатора с одним ускоряющим зазором, помещенного в вакуумный объем, и устройств для выпуска и распределения пучка.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УСКОРИТЕЛЯ
Исаков И.Ф., Логачев В.И., Печенкин С.А., Ремнев Г.Е.
НИИ ЯФ, ТПИ, Томск

К настоящему времени существует несколько работ, показывающих значительное улучшение поверхностных свойств технологических конструкций (микротвердости, износостойкости, коррозионной стойкости) при воздействии интенсивных пучков тяжелых ионов. В этом случае удельный энерговклад в поверхностном слое составляет $\sim 10^4$ Дж/см².

В докладе приведено описание конструкции ускорителя и результатов его испытания. В основе его лежит генерация пучков тяжелых ионов из взрывомиссионной плазмы, образованной предшествующим импульсом напряжения.

Для изготовления ускорителя максимально использованы элементы, выпускаемые нашей промышленностью; так, в качестве генератора импульсных напряжений использован ГИИ-400, а в качестве формирующей и передающей линии кабель КВИ-300 с волновым сопротивлением 24 Ом. В пушке ускорителя вакуум обеспечивается 10^{-6} мм рт.ст. путем безмасляной откачки. Ускоряющее напряжение диода 100 + 150 кэВ, длительность основного импульса напряжения 25, 50, 100 нс. Получены пучки одно-, двух-, трехзарядных ионов *C, Mg, Al, Fe, Cu, W*. Динамика эмиттирующей поверхности исследовалась с помощью ионной камеры-обскуры, энергия, зарядность, атомный вес иона определялись спектрометром Томпсона.

Проведены предварительные испытания на ускорителе по упрочнению поверхностного слоя некоторых материалов в планарной геометрии диода.

УСКОРИТЕЛЬ ПРОТОНОВ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ "ПРИЗ-500"

Авдиенко А.А., Алиновский А.И., Булушев А.Ф., Боровиков В.М.,
Диканский Н.С., Останин В.П., Саликова Т.В.

Институт ядерной физики СО АН СССР Новосибирск

Для обеспечения некоторых технологических операций в производстве полупроводниковых приборов разработан, изготовлен и запущен в эксплуатацию высоковольтный ускоритель протонов. Высокое напряжение до 500 кВ создается каскадным умножителем напряжения, собранным по симметричной схеме и работающем на частоте 20 кГц. Источник протонов - ячейка Пеннинга - обеспечивает ток протонов ~ 5 мкА и ток ионов H_2^+ ~ 20 мкА. Масс-анализ осуществляется 90° постоянным магнитом с показателем спада поля $\mu = -0,5$. Управление выпрямителями питания источника протонов и контроль параметров осуществляются по двум световодным каналам связи в режиме ШИМ-модуляции. Мощность для питания источника протонов и электронной схемы, находящихся под полным напряжением ускорителя, передается через трансформатор с разомкнутым сердечником также на частоте 20 кГц. Для обеспечения электрической прочности в малых габаритах все высоковольтные элементы помещены внутрь баков, заполненных элегазом до давления ~ 5 ата. Откачка вакуумных элементов - безорганическая с помощью магнитоэлектрических насосов типа НМД. Управление установкой полностью автоматизировано на базе ЭВМ "Электроника-60". Измерительные, контрольные и управляющие устройства выполнены в стандарте "КАМАК". Размер ускорителя 1000x2500x2700 мм со стойкой управления.

МАГНИТООПТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА ТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ С РЕЦИРКУЛЯЦИЕЙ ПУЧКА

М.Г.Нагаенко, Ю.П.Севергин, А.С.Федоров

Научно-исследовательский институт электрофизической
аппаратуры им.Д.В.Ефремова, Ленинград

Терапевтический ускоритель со структурой на стоячей волне и рециркуляцией пучка входит в Единую серию новых линейных ускорителей электронов, разрабатываемых в НИИЭФА им.Д.В.Ефремова.

ДЛИТЕЛЬНОЕ УДЕРЖАНИЕ ЦИРКУЛИРУЮЩЕГО ПУЧКА НА
РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ОРБИТЕ В СИНХРОТРОНЕ "ТРОЛЬ"

Аневский С.И., Верный А.Е., Кононогов С.А.,
Панасюк В.С., Саночкин В.В., Терешкин Д.М.,
Енбаев А.В., Хромченко В.Б., Панкратов С.Г.

Всесоюзный научно-исследовательский институт оптико-физических
измерений, Москва

Как известно, в синхротроне "Троль", работающем как генератор синхротронного излучения, ведущее магнитное поле с индукцией 10 Тл возбуждается генератором тока импульсами длительностью порядка единиц микросекунд с частотой повторений один раз в несколько минут. Малое время излучения создает неудобства для его регистрации, увеличивает ошибку измерения и сужает область применения ускорителя. Для длительного удержания пучка во времени в ведущее магнитное поле синхротрона необходимо ввести постоянную составляющую соответствующей величины.

В докладе описана установка, в которой ведущее магнитное поле образовано суперпозицией двух полей - постоянного и переменного. Ускорение частиц производится на восходящем участке переменного магнитного поля. После затухания переменного поля энергия частиц соответствует величине постоянной составляющей ведущего магнитного поля. Малый радиус орбиты обеспечивает интенсивное излучение в инфракрасной, в том числе в субмиллиметровой, области спектра. Дана оценка степени когерентности синхротронного излучения в указанном диапазоне длин волн.

Приводится описание условий движения частиц при суперпозиции радиальных компонентов постоянного и переменного магнитного поля и особенности работы ускоряющей сверхвысокочастотной системы.

МИКРОТРОН НА 12 МЭВ С БОЛЬНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТЬЮ ИМПУЛЬСА
УСКОРЕННОГО ТОКА

И.В.Алексеев, Н.В.Владимиров, В.П.Горбачев, А.В.Соловьев,
В.П.Степанчук

НИИ механики и физики при Саратовском государственном
университете

При использовании микротронов для научных исследований и прикладных целей важными параметрами являются максимальная энергия и ток ускоренных электронов. Для ряда задач определяющими параметрами являются длительность и скважность импульсов ускоренного тока.

В докладе приводятся результаты исследования работы микротрона, описанного на предыдущем совещании, при увеличении длительности и уменьшении скважности импульсов ускоренного тока. Максимальная длительность импульса 35 мкс, минимальная скважность - 100.

Основное внимание при этих исследованиях уделено работе катода и ускоряющего резонатора.

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ИСТОЧНИК СИНХРОТРОННОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ "СИБИРЬ-1"

Анашин В.В., Винокуров Н.А., Вещеревич В.Г., Горникер Э.И.,
Гудюв Б.А., Дементьев Е.Н., Егорычев М.Н., Запяткин Н.П.,
Зинин Э.И., Зиневич Н.И., Зубков Н.И., Карленко В.А.,
Корчуганов В.Н., Кулипанов Г.Н., Куркин Г.Я., Кушнарв К.К.,
Литвиненко В.Н., Медведко А.С., Мезенцев Н.А., Морозов А.А.,
Орешков А.Д., Осипов В.Н., Пиндурин В.Ф., Петров В.Н.,
Петров С.Н., Седяров И.К., Скринский А.Н., Трахтенберг Э.М.

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

Накопитель электронов "СИБИРЬ-1" на рабочей энергии 450 МэВ начал использоваться как источник синхротронного излучения в ИЯЭ им.И.В.Курчатова. Накопитель спроектирован и изготовлен в ИЯЭ СО АН СССР. В докладе описаны основные системы накопителя СИБИРЬ-1, приводятся результаты работы по запуску накопителя, полученные рабочие параметры. Даны потребительские характеристики пучков синхротронного излучения.

тового сопротивления в диапазоне частот 2450 МГц составляют соответственно 92 МОм/м и 123 МОм/м для $\beta=1$. Рассчитаны дисперсионные характеристики ускоряющих структур.

Приведены результаты расчета секции захвата, состоящей из 19 ячеек и двух торцевых полужеек с различными β структуры с шайбами и диафрагмами. Расчеты секции захвата проводились в четыре этапа: 1) оптимизация ячеек с различными β ; 2) параметризация ускоряющего поля в зависимости от β , анализ динамики электронов и выбор соотношения β ячеек в секции при заданном уровне мощности, рассеиваемой в ячейке; 3) выравнивание мощности ВЧ потерь в ячейках секции; 4) моделирование работы секции в целом.

Выполнены расчеты теплового режима ускоряющих структур. Получены распределения температуры в ячейках для различных уровней ВЧ потерь и различных величин коэффициентов теплопередачи охлаждающей воды.

Рассчитаны изменения геометрических размеров ячеек, возникающие вследствие их нагрева, получены зависимости сдвига резонансных частот ячеек от уровня ВЧ потерь, температуры и расхода охлаждающей воды. Сформулированы требования к стабильности работы отдельных узлов системы, указаны допуски на их изготовление и сборку.

ОБРЫВ ПУЧКА В РАЗРЕЗНОМ МИКРОТРОНЕ

В.К.Гришин, Б.С.Ишханов, М.А.Сетников, В.И.Шведунев

Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, Москва

Рассматривается динамика сильно модулированного пучка при его взаимодействии с полем несимметричной волны ускоряющей системы разрезного микротрона. Как известно, различные типы обрыва пучка, такие, как кумулятивный или регенеративный, связанные с взаимодействием модулированного пучка с гибридными волнами, могут привести в рециркуляционных ускорителях к серьезным ограничениям по току.

В данной работе аналитические соотношения для стартовых токов обрыва получены на базе дисперсионных соотношений для сильно банцированного пучка с учетом отражений на границах ускоряющих секций в рециркуляционных системах. Конкретные оценки проводятся в рамках проекта разрезного микротрона непрерывного действия на энергию электронов 100 МэВ и током пучка до 100 мкА НИИЯФ МГУ и базируются на экспериментальных данных, полученных по результатам модельных испытаний ускоряющих элементов ускорителя. Обсуждается возможность повышения стартового тока обрыва пучка с помощью фокусирующих элементов.

К РАСЧЕТУ УСКОРЯЮЩЕЙ СТРУКТУРЫ ЛИНЕЙНОГО КОЛЛЕКТИВНОГО УСКОРИТЕЛЯ ИОНОВ

Асеев Г.Г., Коростелев А.Н., Кузнецова Г.Г.,

Лымарь А.Г., Мартыненко П.А., Хижняк Н.А.

Харьковский физико-технический институт АН УССР

Приведен метод расчета ускоряющей структуры (УС) начальной части коллективного ускорителя ионов с прямолинейным электронным потоком, распространяющимся в гофрированном проводящем экране, в котором ускорение ионов осуществляется пространственной гармоникой медленной ленгмювской волны.

Метод расчета позволяет формировать УС, которая дает возможность ускорить без потерь заданную совокупность инжектированных частиц до заданной энергии при минимальной длине системы.

Приведены результаты численного исследования динамики ускоряемых ионов одного из вариантов УС.

НАГРЕВ ПУЧКА ВБЛИЗИ ПОРОГА СЛАБОДИССИПАТИВНОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ

Н.С.Диканский, Д.В.Пестриков

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

В докладе обсуждается нагрев пучка вблизи порога неустойчивости, вызываемой слабой диссипацией окружающих пучков электронов. Показано, что в этих условиях пучок не может быть охлажден лучше, чем до температуры, отвечающей порогу неустойчивости.

Председатель: А.Н.Скринский

ПРОГРАММА МОДЕРНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННОГО
НАКОПИТЕЛЯ ВЭШ-4

В.В.Анашин, М.М.Бровин, П.Д.Воблий, О.П.Гордеев, А.А.Жоленц,
А.А.Казаков, Г.А.Корнюхин, В.А.Киселев, Э.А.Купер, Л.М.Курдадзе,
Б.В.Левичев, А.С.Медведко, С.И.Мишнев, А.П.Онучин, В.В.Петров,
Г.С.Пискунов, В.Г.Попов, И.Я.Протопопов, Ю.А.Пушков, В.А.Сидоров,
А.Н.Скринский, А.Б.Тёмных, Г.М.Тумайкин, Ю.И.Эйдельман

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

Сообщается о разработанном в ИЯФ СО АН СССР проекте модернизации электрон-позитронного накопителя ВЭШ-4. Проект включает в себя создание специальных вставок в магнитную структуру накопителя для: а) работы в режиме 2x2 сгустка электронов и позитронов; б) управления эмиттансом пучков во всем диапазоне рабочих энергий; в) одновременного уменьшения длины сгустка и частоты синхротронных колебаний. Проект предусматривает изменение оптики технического прямолинейного промежутка накопителя для получения малой бета-функции в месте встречи пучков, противоположном месту встречи в детекторе МД-1. Рассматривается сопряжение нового детектора СИЗИФ, планируемого на дополнительное место встречи, и существенно модернизированного старого детектора МД-1 с оптикой накопителя. Обсуждаются варианты поочередной и совместной работы двух детекторов. Проектная светимость в области энергий Υ -мезонов - $10^{32} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$.

ОСОБЕННОСТИ КУЛОНОВСКОЙ РЕЛАКСАЦИИ ХОЛОДНОГО
НЕСТРУПИРОВАННОГО ПУЧКА В НАКОПИТЕЛЕ

Н.С.Диканский, Д.В.Пестриков

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

В холодном неструктурированном пучке, с энергией частиц ниже критической энергии накопителя, равновесие достигается за счет выравнивания температур частиц и когерентных флуктуаций. В докладе этот процесс анализируется на примере достижения равновесного энергетического распределения при кулоновском взаимодействии частиц. Обмен энергией с поперечными степенями свободы подавлен адиабатичностью столкновений. Вычисляются время релаксации и значения равновесных продольных температур.

О ВОЗМОЖНОСТИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ХОЛОДНОГО ПУЧКА В НАКОПИТЕЛЕ

Н.С.Диканский, Д.В.Пестриков

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

При энергиях частиц ниже критической энергии накопителя в неструктурированном пучке достигается равновесие за счет выравнивания температур частиц и когерентных флуктуаций. Присутствие в равновесии когерентных колебаний приводит к упорядочению движения частиц пучка. Термодинамические свойства такого пучка при уменьшении температуры приближаются к свойствам кристаллического тела. В докладе обсуждаются условия перехода пучка в кристаллическое состояние и особенности такого состояния пучка.

ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННЫЙ НАКОПИТЕЛЬ-ОХЛАДИТЕЛЬ БЭП

В.В.Анашин, И.Б.Вассерман, А.В.Евстигнеев
И.А.Кооп, В.И.Купчик, А.А.Михайличенко,
Е.А.Переведенцев, В.М.Петров, А.Н.Скринский,
Э.М.Трахтенберг, Ю.М.Шатунов

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

В ИИФ СО АН СССР в рамках проекта ВЭПП создается электрон-позитронный накопитель БЭП на энергию 700 МэВ, предназначенный для формирования пригодных для инъекции в суперлинейный высокоинтенсивных коротких сгустков электронов с малыми поперечными размерами. Одновременно БЭП обеспечит примерно в 5 раз более высокую по сравнению с ВЭПП-2 скорость накопления позитронов и заменит его в качестве бустера для установки ВЭПП-2М.

В докладе описан проект накопителя БЭП, монтаж которого запланирован на 1985 год.

ИЗМЕРЕНИЕ РАЗБРОСА СПИНОВЫХ ЧАСТОТ В НАКОПИТЕЛЕ

Лысенко А.П., Полунина А.А., Шатунов Ю.М.

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

В последние годы на различных электрон-позитронных накопителях широко используется метод калибровки энергии частиц по резонансной деполаризации. Точность этого метода ограничена разбросом частот прецессии спинов.

В настоящей работе описывается эксперимент по измерению разброса спиновых частот в накопителе ВЭПП-2М. Результаты измерений согласуются с теоретическими предсказаниями.

СВЕРХПРОВОДЯЩАЯ "ЗМЕЙКА" С ПОЛЕМ 75 кГс ДЛЯ ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННОГО НАКОПИТЕЛЯ "ВЭПП-2М"

Анашин В.В., Вассерман И.Б., Власов А.М., Воробьев П.В.,
Иванов П.М., Климин П.А., Кооп И.А., Переведенцев Е.А.,
Скринский А.Н., Шатунов Ю.М.

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

На электрон-позитронном накопительном кольце ВЭПП-2М для значительного увеличения светимости встречных пучков в диапазоне энергий от 2×200 до 2×700 МэВ будет установлена сверхпроводящая "змейка" с максимальным полем 75 кГс. Параметры "змейки" оптимизированы на достижение светимости $\approx 2 \times 10^{31} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ в области φ -мезонного резонанса (2×510 МэВ) без существенных изменений в конструкции и магнитной структуре накопителя. Предусмотрен вывод синхротронного излучения электронного и позитронного пучков в существующие бункеры "СИ", что позволяет параллельно с выполнением программы физики высоких энергий использовать "змеяку" в качестве источника "СИ" для прикладных исследований.

ПОСЛЕДНИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ С ОПТИЧЕСКИМ КЛИСТРОНОМ, УСТАНОВЛЕННЫМ НА ЭЛЕКТРОННЫЙ НАКОПИТЕЛЬ ВЭПП-3

Н.А.Винокуров, П.Д.Воблый, Г.А.Коренькин, Г.Н.Кулипанов,
В.Н.Литвиненко, А.Н.Скринский

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

С 1979 года на накопителе ВЭПП-3 проводится экспериментальное изучение модификации лазера на свободных электронах - оптического клистрона.

В настоящее время изготовлена и установлена на накопитель новая, третья по счету, магнитная система оптического клистрона. В докладе описана конструкция этой магнитной системы и приведены результаты экспериментов по получению когерентного излучения.

ИСТОЧНИК КВАЗИМОНОХРОМАТИЧЕСКИХ И ПОЛЯРИЗОВАННЫХ
КОМПОТОНОВСКИХ γ -КВАНТОВ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ ДЛЯ
ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ НА НАКОПИТЕЛЕ ВЭПП-4

Казачков А.А., Кезерашвили Г.Я., Лазарева Л.Е.,
Недорезов В.Г., Скринский А.Н., Тумайкин Г.М.,
Шатунов Ю.М.

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

На электрон-позитронном комплексе ВЭПП-4 создана установка для получения квазимонохроматических и поляризованных γ -квантов высоких энергий, использующая процесс обратного комптоновского рассеяния лазерных фотонов на ультрарелятивистских электронах накопительного кольца ВЭПП-4.

Энергетический спектр генерируемых в этом процессе γ -квантов существенно отличается от спектра тормозного излучения, кроме того, получаемые γ -кванты обладают высокой степенью поляризации.

В предлагаемой работе сообщается о достигнутых параметрах установки, обсуждаются способы улучшения степени монохроматичности γ -квантов, а также некоторые эксперименты по ядерной физике, проводимые на этом пучке.

ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО МЕДЛЕННОМУ ВЫВОДУ ЭЛЕКТРОНОВ ИЗ
НАКОПИТЕЛЯ Н-100.

Буляк Е.В., Гладких П.И., Ефимов С.В., Козин В.П.,
Кононенко С.Г., Марков В.В., Мочешников Н.И.,
Репринцев Л.В., Тарасенко А.С.
Харьковский физико-технический институт АН УССР

Приведены результаты экспериментального исследования процесса медленного вывода электронов из накопителя Н-100 на резонансе $Q_z = 2/3$. Показано, что на параметры выведенного пучка существенное влияние ока-

зывают нелинейности, создаваемые краевыми полями магнитов. Проведено моделирование процесса медленного вывода с учетом октупольной составляющей магнитного поля с помощью ЭВМ. Расчетные данные об эффективности медленного вывода сравниваются с результатами измерений. Приводятся параметры выведенного пучка. Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что измеренные параметры выведенного пучка находятся в хорошем согласии с результатами расчетов и что выбранная математическая модель адекватно описывает реальный процесс медленного вывода.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ
НАКОПИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ ЕРФИ ОТ СТРУКТУРЫ
ЯЧЕЙКИ ПЕРИОДИЧНОСТИ

И.П. Карабеков, В.М. Цаканов

Ереванский физический институт

Представлены результаты исследования зависимости основных параметров накопителя электронов на максимальную энергию 1,8 ГэВ и ток 100 мА Ереванского физического института, специализированного для генерации пучков синхротронного излучения (СИ), от структуры ячейки периодичности. Сопоставление результатов вычислений, проведенных для различных электронно-оптических структур ячейки, показало, что для конкретных значений максимальной энергии, среднего радиуса кольца и радиуса закругления в магнитах указанного накопителя структура, содержащая FD дуплет между заворачивающими магнитами, наиболее предпочтительна. Она обеспечивает высокую яркость источника, сравнительно большое значение равновесной фазы ускоряющего поля, относительно небольшую силу секступольных линз и позволяет иметь около 10 независимых каналов вывода СИ. Обсуждается выбор критериев оптимизации.

ВЛИЯНИЕ КУБИЧНОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ ВЕДУЩЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ
НАКОПИТЕЛЯ НА ЭФФЕКТЫ ВСТРЕЧИ

Темных А.Б.

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

В работе описан возможный механизм влияния кубической нелинейности ведущего магнитного поля накопителя на силу и характер взаимодействия встречных пучков. Показано, что положительная кубическая нелинейность ведущего поля в присутствии встречного пучка приводит к образованию областей, где частота бетатронных колебаний не зависит от амплитуды. Именно в этих областях может накапливаться значительное число частиц, что, в свою очередь, может привести к уменьшению светимости и, возможно, к уменьшению времени жизни частиц в накопителе.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭФФЕКТОВ ВСТРЕЧИ ОТ ПОЛОЖЕНИЯ
РАБОЧЕЙ ТОЧКИ НАКОПИТЕЛЯ ВЭПП-4

Темных А.Б.

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

Электромагнитное взаимодействие между встречными пучками в накопителе приводит к увеличению вертикального размера взаимодействующих пучков и к уменьшению времени жизни частиц в накопителе, которое связано с выходом частиц за апертуру.

В работе представлены экспериментальные данные о зависимости поперечного размера взаимодействующих пучков и времени жизни частиц от положения рабочей точки. Поперечный размер определялся по светимости, нормированной на ток пучков. Время жизни частиц, связанное с выходом частиц за апертуру накопителя, фиксировалось по скорости счета тормозных фотонов, которые рождались при взаимодействии потерянных частиц со стенкой вакуумной камеры. Анализ этих данных позволил выявить "работающие" машинные резонансы в районе рабочей точки ВЭПП-4, а также дополнительные резонансы, которые появляются в результате электромагнитного взаимодействия между встречными пучками. Это в свою очередь дало возможность выбрать оптимальное положение рабочей точки накопителя на частотной плоскости.

ПРОЕКТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАКОПИТЕЛЯ-РАСТЯЖИТЕЛЯ ПУЧКА
ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ НА ЭНЕРГИИ 2000 МЭВ
ИЖТИ АН УССР

Булик Е.В., Вишняков В.А., Гладких П.И., Гончар В.Д.,
Григорьев Д.Н., Гук И.С., Ерёменко Е.В., Ефимов С.В.,
Июшкин Е.В., Коба И.И., Кондратенко В.В., Козин В.П.,
Кочменко С.Г., Курьяко В.И., Мазманяшвили А.С.,
Моченингов Н.И., Наугольный Н.Н., Редрицев Л.В.,
Сорокин П.В., Толстой А.Е.

Харьковский физико-технический институт АН УССР

Повышение эффективности исследований в области ядерной физики и физики элементарных частиц требует существенного улучшения коэффициента заполнения пучка ЛУЭ-2000 ИЖТИ. Наиболее приемлемым способом увеличения коэффициента заполнения пучка ЛУЭ является сооружение на его выходе кольцевого накопителя-растяжителя (НР). Для НР предлагается использовать магнитную систему с разделёнными функциями поворота и фокусировки пучка. Для удержания и медленного вывода частиц в течение времени между импульсами ЛУЭ необходимо применение ВЧ-системы для компенсации потерь энергии на излучение.

Выбранные параметры кольца, системы инжекции, а также специальный режим работы ВЧ-системы позволят осуществить инжекцию частиц без увеличения эмittance пучка и уменьшить их энергетический разброс.

Проведенные теоретические исследования и численные моделирование на ЭИМ медленного вывода пучка из НР в акроматическом и хроматическом режимах показывают возможность получения на выходе НР квази-прерывного пучка с параметрами, удовлетворяющими требованиям физического эксперимента.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА МЕДЛЕННОГО ВЫВОДА
РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ ИЗ НАКОПИТЕЛЯ-РАСТЯЖИТЕЛЯ
С УЧЕТОМ РАДИАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ

Григорьев Ю.Н., Кононенко С.Г., Мазманяшвили А.С.
Харьковский физико-технический институт АН УССР

Задача решения уравнений движения электронов в накопителе-растяжителе (НР) с реальными характеристиками электромагнитных полей представляет серьезные трудности для теории.

В работе описываются результаты моделирования процесса вывода с учетом радиально-фазового движения и радиационных процессов, осуществленного с помощью программного алгоритма в шестимерном фазовом пространстве. Описана процедура наводки на резонанс третьего порядка горизонтальных бетатронных колебаний, на котором осуществляется вывод; приведена временная диаграмма вывода электронов для пучка с равномерным исходным распределением частиц по координатам.

НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭФФЕКТЫ КРАЕВОГО ПОЛЯ ПОВОРОТНЫХ МАГНИТОВ
В ЦИКЛИЧЕСКИХ УСКОРИТЕЛЯХ И НАКОПИТЕЛЯХ

Е.В.Буляк, С.В.Ефимов, А.С.Тарасенко
ХФТИ АН УССР, Харьков

Теоретически рассмотрены нелинейные эффекты, вызываемые краевыми полями плоских поворотных магнитов. Определена зависимость частот бетатронных колебаний от их амплитуды, характеристик краевого поля и бетатронных функций установки. Показано, что частота радиальных колебаний остаётся без изменения, а вертикальная - растёт с увеличением амплитуды.

Найдены силы нелинейных резонансов, которые могут возбуждаться краевыми полями.

Оценки теории подтверждены результатами экспериментального измерения нелинейных характеристик бетатронных колебаний, выполненного на накопителе Н-100 ХФТИ.

На основе теоретического рассмотрения и моделирования динамики пучка на ЭВМ сделаны выводы относительно влияния краевых полей на процесс медленного резонансного вывода частиц из ускорителей и накопителей-растяжителей.

ИЗМЕРЕНИЕ ТОКА И ПОЛОЖЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ СЛУСТКОВ ЭЛЕКТРОННОГО
И ПОЗИТРОННОГО ПУЧКОВ В НАКОПИТЕЛЕ ВЭПП-2М

А.П.Лысенко, В.П.Черепанов, А.А.Яценко

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

Работа посвящена задаче измерения тока и положения каждого из слустков электронного и позитронного пучков отдельно, одновременно циркулирующих в различных сепаратрисах накопителя ВЭПП-2М. Дано описание измерительной системы, основными элементами которой являются датчики на согласованных полосковых линиях и стробоскопический осциллограф. Выбор электронного или позитронного каналов измерений, сепаратрис и передача в ЭВМ информации, отображаемой на экране ЭЛТ осциллографа, осуществляется при посредстве аппаратуры в стандарте КАМАК. В работе приводятся методика обработки информации, описание программного обеспечения системы и данные об абсолютных и относительных точностях измерений.

Система использовалась в экспериментах по исследованию эффекта поляризации пучков.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ДЕПОЛЯРИЗУЮЩЕГО ВЛИЯНИЯ
ВСТРЕЧНОГО ПУЧКА НА НАКОПИТЕЛЕ ВЭПП-4 С ПОМОЩЬЮ
ПОЛЯРИМЕТРА

А.А.Казаков, Г.Я.Кезерашвили, И.Я.Протопопов,
А.Н.Скринский, Г.М.Тумайкин, Ю.М.Шатунов

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

В работе сообщаются экспериментальные результаты по изучению деполяризации электронного пучка в зависимости от тока встречного позитронного пучка. Описывается модернизация лазерного поляриметра накопителя ВЭПП-4, включающая в себя:

- 1) существенное повышение электрон-фотонной светимости;
- 2) усовершенствование системы регистрации, которая обеспечивает близкую к 100% эффективность регистрации пучка обратных комптоновских γ -квантов;
- 3) высокоскоростную электронику и программное обеспечение.

Сессия 11. РАДИАЦИОННЫЕ ПРОБЛЕМЫ НА УСКОРИТЕЛЯХ

Председатель: В.Н.Лебедев

ОЦЕНКА РОЛИ РЕАКЦИИ μ^- -ЗАХВАТА ЯДРАМИ ЖЕЛЕЗА
В ФОРМИРОВАНИИ ПОЛЯ НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВОКРУГ
МЮОННЫХ ПОГЛОТИТЕЛЕЙ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПУЧКОВ
ЧАСТИЦ

В.П.Крючков, Г.И.Семенова

Институт физики высоких энергий, Серпухов

Рассмотрена роль реакции μ^- -захвата ядрами вещества радиационной защиты в формировании поля нейтронного излучения на ускорителях частиц на высокие энергии. Проведено расчетное исследование переноса нейтронов, рожденных в результате μ^- -захвата ядрами железа, в стальном мюонном поглотителе нейтринного канала У-70 при различных режимах его работы. Показано, что при работе нейтринного канала в режиме антифокусировки и режиме без фокусировки нейтринного пучка дозовое поле в районе мюонного поглотителя полностью определяется нейтронами, рожденными в рассматриваемой реакции.

РАСЧЕТ РАДИАЦИОННЫХ И ФОНОВЫХ УСЛОВИЙ НА КАНАЛЕ
МЕЧЕННЫХ НЕЙТРИНО ИФВЭ

И.С.Байшев, А.П.Бугорский, С.П.Денисов, М.А.Маслов,
Н.В.Мохов, С.И.Стриганов, А.В.Узунян

Институт физики высоких энергий, Серпухов

Магнито-оптическая система создаваемого в ИФВЭ канала меченых нейтрино позволяет формировать пучки К- и П-мезонов в интервале энергий от 10 до 35 ТэВ, образующихся при взаимодействии протонов с энергией 70 ТэВ и интенсивностью $2 \cdot 10^{13}$ прот./цикл на мишени. На основе разработанного в ИФВЭ комплекса монте-карловских программ создана версия программы для расчета

образования и транспортировки адронов и мюонов в магнитной структуре этого канала. В работе приводятся результаты расчетов пространственных и энергетических распределений протонов, пионов, каонов и мюонов по трассе канала и на станции мечения. Получены распределения потоков мюонов в стальной защите нейтринного детектора.

Особое внимание уделено частицам, образовавшимся в результате взаимодействия части проходящего по ионопроводу пучка с элементами конструкций канала и вновь попавшим в импульсный интервал транспортируемых адронов.

СИСТЕМА ВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА ВТОРИЧНОГО НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ЦИКЛЕ УСКОРИТЕЛЯ

Е.А.Белогорлов, Г.И.Бритвич, Г.И.Крупный, В.С.Луканин,
В.Д.Майоров, А.В.Макагонов, В.Н.Пелешко, Я.Н.Расцветалов

Институт физики высоких энергий, Серпухов

Описана система спектрального анализа информации одновременно с двух детекторов нейтронного излучения за защитой ускорителя на 64 последовательных временных интервалах, охватывающих весь период существования излучения от инжекции до поглощения неиспользованной части ускоренного пучка. Длительность временных интервалов может устанавливаться от 10 до 100 мс. В каждом последовательном интервале для накопления спектральной информации отведено по 64 канала.

Представлены результаты измерений временных зависимостей характеристик спектров нейтронного излучения в цикле ускорителя для некоторых режимов работы синхротрона ИФВЭ.

МИШЕННЫЕ СТАНЦИИ НА ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ ПУЧКАХ ПРОТОНОВ НА СЕРПУХОВСКОМ СИНХРОТРОНЕ

Крючков В.П., Кучинин С.Л., Лебедев В.Н., Рзаев Р.А., Черный С.А.

Институт физики высоких энергий, Серпухов

Обобщается опыт создания мишенных станций (МС) на выведенных высокоинтенсивных протонных пучках ускорителей с энергией более нескольких ГэВ. Показано, что при $Ir \geq 10^{12}$ прот/с без принятия на стадии проектирования специальных мер работы и эксплуатация мишенных станций становится не только затруднительной, но подчас и невозможной из-за низкого радиационного ресурса обычно применяемого оборудования и высоких уровней наведенной активности. В работе рассматривается ряд мер, которые позволяют в принципе увеличить ресурс работы оборудования и продвинуться вперед по интенсивности.

На примере МС универсального канала и МС для организации пучков меченых, монохроматизированных и электронных нейтрино на Серпуховском ускорителе показана возможность обеспечения длительной работы при интенсивности до $(5-6) \cdot 10^{12}$ прот/с. Рассмотренные меры могут быть использованы на других высокоэнергетических ускорителях частиц.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА НЕПРЕРЫВНОГО РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННОГО УСКОРИТЕЛЬНО-НАКОПИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ВЭПП-4 (СТРУКТУРА И РЕАЛИЗАЦИЯ)

В.В.Каргальцев, О.М.Корябкин, Э.А.Купер, А.В.Репков

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

В работе описана структура стационарной системы радиационного контроля, предназначенной для измерения уровней и доз излучений электрон-позитронного ускорительно-накопительного комплекса.

Система может оперативно представлять информацию о текущей радиационной обстановке, оповещать об аварийной ситуации, воздействовать на режим работы узлов комплекса для предотвращения облучения персонала и позволяет вести накопление, хранение и обработку полученной информации.

Система включает в себя датчики, расположенные на территории объекта, аппаратуру, производящую первичную обработку поступающей информации, и микро-ЭВМ (длина слова 24 разряда, объем памяти 32К слов). Микро-ЭВМ программно совместима с вычислительными машинами, управляющими комплексом ВЭШ-4, и связана с управляющим центром для обмена информацией, начальной загрузки и ведения архива. Аппаратура системы выполнена в стандарте КАМАК, микро-ЭВМ представляет собой автономный крейт-контроллер.

Рассмотрены требования, предъявляемые к аппаратуре для обеспечения непрерывности работы, надежности, а также простоты развертывания и изменения масштаба и конфигурации системы.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА НЕПРЕРЫВНОГО РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННОГО УСКОРИТЕЛЬНО-НАКОПИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ВЭШ-4 (ЦЕЛИ, ПОДХОДЫ, ДЕТЕКТОРЫ)

В.Г.Баркова, О.М.Корябкин, А.В.Репков, В.Я.Чудаев

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

Многоканальные автоматизированные системы дозиметрического контроля способны в значительной степени обеспечить решение следующих основных задач, возникающих в практической деятельности по обеспечению радиационной безопасности:

1. Оперативное изучение радиационной обстановки на различных участках радиационно-опасного объекта в целях:

- предварительной либо текущей (рутинной) оценки риска для персонала при выполнении тех или иных работ;
- планирования защитных мероприятий при организации и проведении работ.

2. Возможно раннее выявление резких ухудшений радиационной обстановки с целью предотвращения повышенного или аварийного облучения работающих.

Обосновывается необходимость создания такой системы на комплексе ВЭШ-4. Обсуждается смысл дозиметрических величин, подлежащих измерению и контролю. Выбор основных детекторов системы произведен исходя из качественной характеристики радиационной обстановки на ускорительно-накопительном комплексе. Для измерения уровней электронно-фотонного и мюонного излучений использована сферическая ионизационная камера со стенками из полиамида. Для оценки фотонейтронного излучения применены детекторы с замедлителями из полиэтилена с регистрацией тепловых нейтронов по активации Rh^{103} ; детекторы содержат дополнительные счетные тракты для компенсации фоновых процессов.

К РАСЧЕТУ ТОПОГРАФИИ ПОЛЕЙ РАДИАЦИОННЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ В ЛИНЕЙНЫХ УСКОРИТЕЛЯХ ИОНОВ

Жижняк Н.А., Сидоренко И.С., Шиляев Б.А., Шулика Н.Г.

Харьковский физико-технический институт АН УССР

На примере модели линейного ускорителя протонов с переменнo-фазовой фокусировкой изложена методика расчета нейтронных полей, генерируемых протонами, потерянными в процессе формирования и ускорения пучка. Расчет транспортировки пучка в процессе ускорения проводился программой ЭВМ [1].

Математическая модель ускорителя состояла из двух частей: - модели оптимального размещения ускоряющих промежутков, обеспечивающей максимальный захват протонов из инжектора; - модели тракта ускорения, учитывающей влияние объемного заряда ступка протонов методом "крупных частиц".

Определено пространственно-энергетическое распределение протонов, потерянных вдоль тракта ускорения, и его зависимость от интенсивности ускоряемого пучка.

Начальный участок ускоряющей структуры, определяющий аксептанс и сепаратрису всей структуры в целом, характеризуется двумя максимумами потерь:

- в дрейфовом промежутке при фазовом формировании пучка протонов ($I = 1\%$, $E_p = 0,15$ МэВ);
- при захвате протонов в процессе ускорения ($\sim 50\%$, $E_p = 1,5$ МэВ)

Полученный профиль потерь протонов по длине ускорительного тракта позволил рассчитать топографию поля излучения нейтронов в предположении, что конструкционным материалом системы сопровождения пучка в процессе ускорения является медь. Интенсивные потери пучка в начальной части ускорителя не дают вклада в процесс формирования нейтронных полей из-за малой энергии протонов. Выход нейтронов для меди начинается с 20-22 ускоряющего периода ($E_p \geq 3$ МэВ).

Изменение удельных потерь в области энергий свыше 3 МэВ влияет на характер пространственной плотности распределения нейтронов.

Для этих расчетов использовались часть программного комплекса ИМИТАТОР [2], состоящая из программы гибридной статистической модели АЛИСА, программы моделирования траекторий протонов внутри

В работе приведены результаты разработки и исследований секции ударного магнита из двух модулей, на которой проверены основные режимы работы ударных магнитов в системах ввода, вывода, перевода и аварийного сброса.

Описана конструкция магнита, учитывающая необходимость высокой радиационной стойкости и работы в вакууме порядка 10^{-9} тор. Приведены характеристики распределения поля для различных уровней возбуждения магнита, оценены импедансы продольной связи с пучком. Обоснован выбор схем согласования магнита с длинной линией передачи и импульсным генератором, расположенным на расстоянии до 500 м от магнита. Приведены характеристики импульсов поля и результаты предварительных вакуумных испытаний.

ВЛЭП. СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ МОДУЛЯ ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ

В.Е.Балакин, Ю.Г.Бамбуров, О.Н.Брежнев, М.Н.Захваткин, Б.В.Иванов, С.Ю.Казаков, В.Ф.Каситский, В.Ф.Клюев, А.В.Кожемякин, Е.И.Коккин, В.И.Кондратьев, Г.С.Крайнов, Г.И.Кузнецов, Д.Е.Куклин, А.Н.Лукин, А.В.Новохатский, М.А.Олейников, Е.И.Похлебенин, Ю.И.Семенов, Н.А.Соляк, Н.Г.Хавин, Г.И.Ясенов, Б.И.Ястреба

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

Линейный ускоритель ВЛЭП предполагается выполнить из однометровых отрезков ускоряющей структуры, разделенных между собой промежутками с магнитными линзами. Для возбуждения ускоряющей структуры разрабатывается мощный импульсный СВЧ-источник типа гирокон с использованием электронного пучка ускорителя ЭЛИТ Л2.

Приводятся последние результаты испытаний ускорителя ЭЛИТ Л2, гирокона и однометровой секции линейного ускорителя.

СИЛЬНОТОЧНЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ УСКОРИТЕЛЬ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ НА ЭНЕРГИЮ 4,5 ГэВ

К.А.Беловинцев, Г.П.Бочаров, А.И.Карев, В.Г.Куракин, А.И.Лебедев, Е.И.Тамм, П.А.Черенков

Физический институт им. П.Н.Лебедева АН СССР, Москва

Обсуждается проект трехступенчатой системы электронных ускорителей-рециркуляторов на энергию 4,5 ГэВ. Интенсивность выведенного пучка электронов до 300 мкА ($2 \cdot 10^{15}$ e/c), коэффициент заполнения 100%, энергетическое разрешение 10^{-4} .

Пучок от электронной пушки ускоряется в линейном ускорителе до энергии 7 МэВ и инжектируется в первую ступень каскада - разрезной микротрон на энергию 200 МэВ. Вторая ступень, выполненная по схеме двустороннего микротрона, обеспечивает