

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

4233/83

15/8-83

P9-83-307

Г.В.Долбилов, Л.В.Дубовик, В.Д.Инкин,
Н.И.Лебедев, В.П.Николаев, В.А.Петров,
В.А.Петров, Т.П.Саенко, В.П.Саранцев,
А.П.Сумбаев, А.А.Фатеев, А.С.Щеулин, Б.Г.Щинов

КОЛЛЕКТИВНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ

ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ КУТИ-20.

СИЛУНД-20, СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ,

КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

1983

Коллективный ускоритель с электронными кольцами /КУТИ-20/ состоит из следующих основных систем:

- Линейного индукционного ускорителя электронов /СИЛУНД-20/;
- Адиабатического генератора заряженных тороидов /"Адгезатор-20"/, в котором осуществляется формирование электронных колец и загрузка их ионами;
- Линейного ускорителя электронно-ионных колец;
- Систем управления, контроля и диагностики.

В настоящее время завершено создание ускорителя СИЛУНД-20, первой очереди систем управления, контроля и диагностики, измерены параметры ускоренного пучка электронов.

1. СИЛУНД-20

Наносекундный линейный индукционный ускоритель электронов СИЛУНД-20 /рис.1/ разрабатывался исходя из требования обеспечить следующие параметры электронного пучка:

Энергия электронов	- 1,5 ÷ 2,0 МэВ
Ток пучка	- 500 А
Длительность импульсов тока	- 10 ÷ 15 нс
Эмиттанс	- 100 мрад·см
$\Delta E/E$	- 5%
Частота циклов	- до 50 Гц

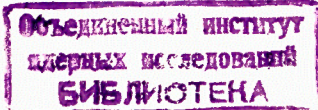
С учетом близости проектных параметров ускорителя СИЛУНД-20 и параметров работающего уже много лет ускорителя СИЛУНД /инжектора прототипа КУТИ/, в основу новой установки были положены те же принципы построения.

Необходимость применения новых технических решений при создании ускорителя СИЛУНД-20 обусловлена:

- существенным увеличением цикличности /на 2 порядка/, а следовательно, и увеличением средней мощности, тепловых и радиационных нагрузок на узлы ускорителя;
- прогрессом в области импульсной техники и технологии производства материалов, изделий и приборов, выпускаемых промышленностью;
- опытом эксплуатации существующих ЛИУ.

Импульсная ускоряющая система

Индукторы ускорителя выполнены на кольцевых ферритовых сердечниках марки 200 НН2^{1/}. Размер сердечников 250x170x25 мм. Ускори-



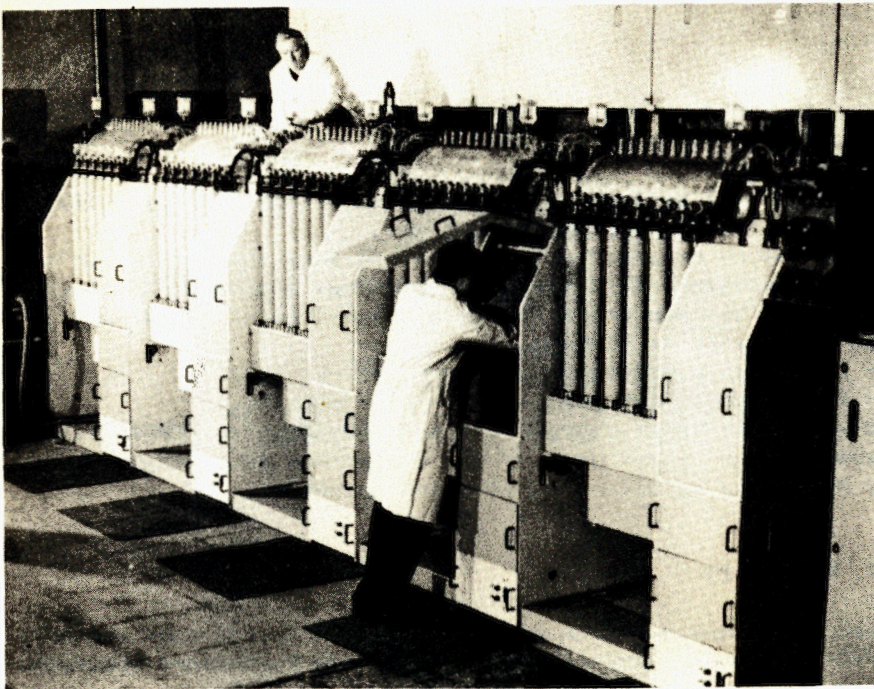


Рис.1. Общий вид ускорителя СИЛУНД-20

тель содержит 120 индукторов, объединенных в 5 ускоряющих секций по 24 индуктора в каждой.

Применение сердечников больших размеров позволило увеличить апертуру ускорительного тракта до ~ 70 мм и тем самым облегчить условия транспортировки пучка в ускорительном тракте. Основная сложность транспортировки связана с поперечной неустойчивостью интенсивных пучков, которая обусловлена взаимодействием пучка с элементами ускорительного тракта. Развитие неустойчивости приводит к смещению пучка от оси системы.

Основное отличие импульсной ускоряющей системы СИЛУНД-20 состоит в применении модулятора нового типа. Впервые в технике ЛИУ используется модулятор /генератор импульсов ускоряющего напряжения/ с усилением импульсной мощности.

Усиление мощности осуществляется путем временного сжатия энергии /уменьшение длительности импульса при сохранении его энергии/ с помощью специальных нелинейных магнитных схем сжатия. Такие устройства называют еще магнитными генераторами импульсов. Несмотря на широкую известность этих схем, применить их в ЛИУ до настоящего времени не удавалось. Сложность реализации магнитных генераторов в ЛИУ определяется большой величиной

полной энергии и высоким напряжением, которые характерны для таких установок, как ЛИУ.

Исследования магнитных усилителей мощности, проведенные в ОНМУ ОИЯИ в период разработки проекта СИЛУНД-20, показали, что существуют пути эффективного использования нелинейных схем усиления в ЛИУ. Один из вариантов такого генератора использован в модуляторе СИЛУНД-20.

Модулятор формирует импульсы длительностью 30 нс с амплитудой напряжения - 17 кВ и тока - 35 кА. Импульсная мощность $P \approx 600$ МВт. Такой мощности достаточно для запитки 24 индукторов, т.е. одной секции ускорителя. Число модуляторов на ускорителе сокращено до 5, причем их коммутаторы /ТГИ1-2500/50/ работают в паспортном режиме по длительности и амплитуде импульсов тока.

Фокусирующая система

Фокусировка пучка осуществляется соленоидальным магнитным полем.

При создании системы питания фокусирующих катушек использовались импульсные частотные тиристоры и фильтровые конденсаторы повышенной мощности. Увеличено быстродействие схемы питания, длительность тока в обмотках соленоида сокращена до 45 мкс с целью увеличения скважности и уменьшения тепловыделений в соленоиде.

С этой целью разработан фольговый вариант катушки соленоида. Толщина фольги определяется скин-эффектом. Фокусирующие катушки имеют масляное охлаждение.

Система обеспечивает магнитное поле в ускорительном тракте до 4 кЭ при токе в катушках ~ 2 кА.

Ускорительный тракт

Учитывая жесткие радиационные и тепловые условия, в которых находятся элементы ускорительного тракта ^{/1/}, мы использовали только металло-керамические конструкции /ускорительные трубки, межсекционные камеры/. Конструкция ускорительного тракта обеспечивает высокую однородность фокусирующего магнитного поля /неоднородность не превышает $\pm 6\%$ / и коэффициент прохождения электронного пучка по ускорительному тракту, приближающийся к 100%.

Источник электронов

При разработке плазменного источника электронов ^{/2/} наиболее сложной проблемой была проблема долговечности катода. При частоте посылок 50 Гц ресурс работы источника составлял 8 ч, в то время как при $f \sim 1$ Гц его ресурс практически неограничен. Проведены специальные исследования по изучению механизма старения, выявлены и устранены его первопричины.

Существующий вариант источника обеспечивает ток до 1 кА, его ресурс превышает 500 ч.

2. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ

Система управления и контроля параметров выполнена на базе ЭВМ СМ-3, микро-ЭВМ "Электроника-60", контроллера КМ-001 и аппаратуры в стандарте КАМАК. Характерными особенностями системы являются:

- Многопроцессорная структура построения, при которой не требуется организации мультипрограммных режимов на каждой из микро-ЭВМ, исключены затраты времени на диспетчерские функции и тем самым уменьшено "мертвое время" ЭВМ, что важно при высокой цикличности работы ускорителя. Кроме того, такая структура позволяет поэтапное развитие системы управления и автономное функционирование отдельных систем ускорителя.

- Отсутствие внешнего оборудования у микро-ЭВМ нижнего уровня. Загрузка программ, их запуск, прием и накопление данных в этих микро-ЭВМ осуществляются с пультовой ЭВМ СМ-3.

- Применение программно-совместимых ЭВМ и серийно выпускаемой ОП ОИЯИ аппаратуры в стандарте КАМАК, что упрощает программирование, обслуживание и ремонт, создает возможность резервирования, т.е. увеличивает общую надежность системы управления.

В настоящее время в режиме опытной эксплуатации работает первая очередь системы управления, которая включает в себя:

1. Синхронизатор^{/3/}, обеспечивающий запуск всех систем ускорителя в заданной временной последовательности. Он имеет 52 канала запуска с диапазоном регулирования 0-5 мс, с шагом до 1 нс. Синхронизатор выполнен на базе микропроцессорного контроллера КМ-001, программное обеспечение которого позволяет оператору в удобной для него форме управлять режимом запуска всех систем ускорителя. Данные выбранных режимов /до 9/ могут сохраняться на дисках ЭВМ СМ-3, и любой из этих режимов может быть восстановлен по команде оператора.

2. Систему контроля и измерения параметров, выполненную на базе микро-ЭВМ "Электроника-60". Эта система имеет 100 каналов и выполняет следующие функции:

- Осуществляет контроль параметров систем ускорителя. При уходе величины контролируемого параметра из заданного диапазона оператору выдается соответствующее сообщение.

- По команде оператора производит измерение одного или заданной группы параметров.

Микро-ЭВМ "Электроника-60" и контроллер КМ-001 подключены к ЭВМ СМ-3 через аппаратуру КАМАК.

На пульте ускорителя установлены алфавитно-цифровой дисплей и телевизионный монитор для текущего отображения информации, результаты измерений выводятся на цифropечатающее устройство.

Такой состав системы управления обеспечивает работу ускорителя СИЛУНД-20 и генератора "Адгезатор-20" с двумя ступенями сжатия. По мере создания последующих систем ускорителя будет наращиваться и система управления.

3. ПАРАМЕТРЫ ПУЧКА

Целью экспериментов по определению характеристик пучка являлась проверка их соответствия проектным значениям, которые необходимы для формирования плотных электронных колец. Исследования проводились на головном образце ускорителя, включавшем 2 секции, и на всем ускорителе. Были проведены измерения:

- степени замагниченности катода,
- эмиттанса пучка источника электронов,
- характеристик ускоренного пучка (E , $\frac{\Delta E}{E}$, ϵ).

В основе всех экспериментов были исследования поведения распределений плотности тока пучка по сечению в различных условиях. При этом использовались многоканальные датчики /от 14 до 44 каналов/ коллекторного типа. Конструкция одного из датчиков и блок-схема регистрирующей электроники приведены в работе^{/4/}. Распределения плотности тока строились путем сканирования по амплитуде сигналов с коллекторов во время строб-импульса, минимальная длительность которого составляла 5 нс. Измерения производились на линии с ЭВМ. В экспериментах на ускорителе использовался двухуровневый измерительно-вычислительный комплекс. На нижнем уровне с помощью микро-ЭВМ "МЕРА-60-10" осуществлялось обслуживание модулей регистрирующей электроники и производилась первичная обработка экспериментальной информации. На верхнем

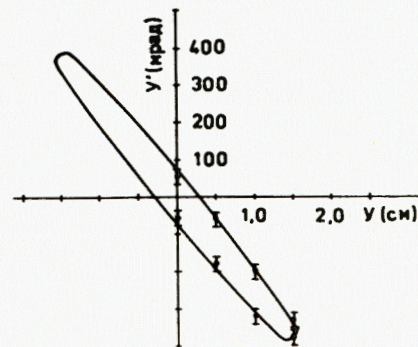


Рис.2. Фазовый портрет пучка после прохождения им 1-й ускоряющей секции.

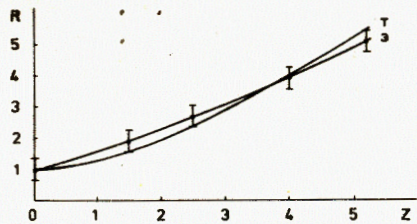


Рис.3. Кривая расхождения пучка в пространстве дрейфа. т - теоретический распад, э - эксперимент.

$$R = \frac{r}{r_{\min}}; \quad Z = \frac{z}{z_{\min} \lambda};$$

$$\lambda = \frac{1}{2} \left(\frac{\beta^3 \gamma^3 I_0}{I_n} \right)^{1/2}; \quad I_n = 500 \text{ А};$$

$$I_0 = 17 \text{ кА}; \quad \gamma = 1,7; \quad \beta = 0,8.$$

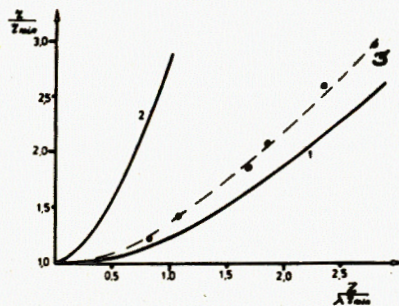


Рис.4. Расчетные кривые расхождения пучка на выходе 2-й секции. 1 - расходимость пучка под влиянием кулоновских сил, 2 - расходимость пучка за счет намагниченности катода, 3 - эксперимент.

$$\lambda = \frac{1}{2} \left(\frac{\beta^3 \gamma^3 I_0}{I_n} \right)^{1/2};$$

$$I_n = 500 \text{ А}; \quad I_0 = 17 \text{ кА}; \quad \gamma = 2,13; \quad \beta = 0,88.$$

уровне, выполненном на базе ЭВМ СМ-4, проводилась математическая обработка данных. Общее управление ходом эксперимента /задание режимов измерения, обработка и представление информации/ осуществлялось через терминал СМ-4. Для отображения графической информации применялись цветной телевизионный монитор и графопостроитель.

Измерения эмиттанса пучка источника электронов проводились после прохождения пучком 1-й ускоряющей секции /2/. На рис.2 приведен полученный в этом эксперименте щелевым методом фазовый портрет пучка /у, у' - среднеквадратичные величины размера пучка и его угла расхождения соответственно/, а на рис. 3 - кривая расширения пучка в пространстве дрейфа.

Степень намагниченности плазменного катода /2/ определялась при анализе расширения пучка в пространстве дрейфа на выходе его из 2-й секции ускорителя. Результаты эксперимента представлены на рис.4. Расчетные кривые соответствуют: 1 - расходимости пучка только под влиянием кулоновских сил; 2 - за счет появления механического момента на выходе соленоидального поля при намагниченном катоде / $H_k = 1 \text{ кЭ}$ /. Экспериментальные данные позволяют оценить верхнюю границу $H_k \leq 60 \text{ Э}$. Эмиттанс пучка оценивается как $\epsilon = 100 \pm 40 \text{ мрад см}$ при $H_k = 0$.

Измерения характеристик ускоренного пучка производились после прохождения им двух секций и на выходе ускорителя /после прохождения 5 секций/. Нами использовалась методика определения пара-

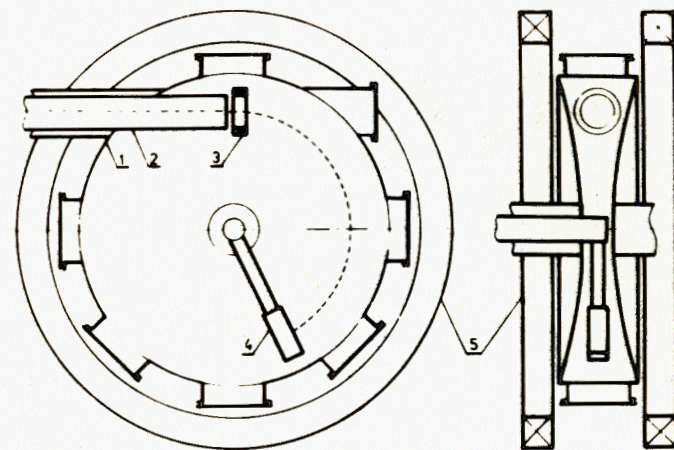


Рис.5. Схема установки для измерений параметров пучка: 1 - вакуумная камера, 2 - канал инжекции, 3 - пояс Роговского, 4 - датчик, 5 - катушки слабофокусирующего поля.

метров пучка /6/ при исследовании его динамики на первом обороте в слабофокусирующем магнитном поле. Обработка экспериментальной информации производилась с использованием метода моментов функции распределения. Этот метод позволяет в одном цикле измерений восстановить среднеквадратичные характеристики пучка, не привлекая для объяснения экспериментальных данных модельных представлений о функции распределения частиц. В целом методика, основанная на анализе огибающих пучка в слабофокусирующем магнитном поле, представляла для нас дополнительный интерес, так как позволяла непосредственно в рабочих условиях изучить динамику пучка и отработать устройства системы инжекции. Установка, на которой производились измерения, схематично показана на рис.5. На выходе канала инжекции 2 устанавливался ослабитель интенсивности пучка для уменьшения влияния кулоновских сил на процесс измерений, что было особенно важно при малых значениях энергии пучка /после прохождения им двух секций/. Ослабитель представлял собой металлический диск с большим количеством отверстий малого диаметра. Толщина диска выбиралась больше длины свободного пробега электронов, а соотношение диаметра отверстий и толщины - такими, чтобы не уменьшать фазовый объем проходящего пучка. Поворотный датчик 4 был водоохлаждаемым, что позволяло проводить измерения на частотах повторений импульсов до 50 Гц.

Рис. 6. Распределения плотности тока пучка по сечению.

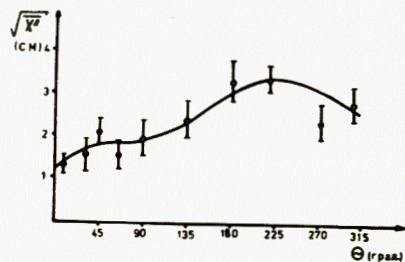
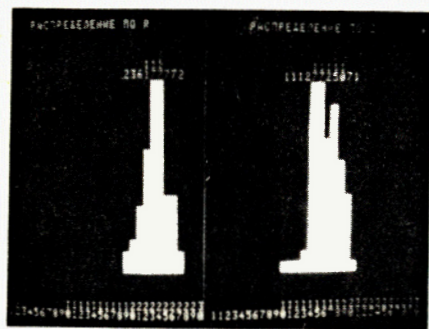


Рис. 7. Огибающая пучка.

На рис.6 приведен пример представления информации о распределении плотности тока пучка по сечению. На рис.7 показана одна из огибающих пучка. В данном режиме пучок на входе не согласован, что приводит к значительным колебаниям огибающей.

Данные о пучке, полученные по всей серии экспериментов, приведены в таблице.

В таблице приведены эффективные значения эмиттанса и энергетического разброса, соответствующие при гауссовом распределении плотности тока по сечению /близком к экспериментально наблюдаемому/ 96% интенсивности пучка:

$$\overline{\epsilon^2} = \overline{x^2 v^2} - (\overline{xv})^2,$$

$$\frac{\overline{\Delta E^2}}{E^2} = \frac{\overline{\Delta p^2}}{p^2} \frac{(y^2 - 1)^2}{y^4}, \quad \text{где } y - \text{ релятивистский фактор.}$$

В данные выражения входят моменты функции распределения: размер $\overline{x^2}$, расходимость v^2 , импульсный разброс $\overline{\Delta p^2}/p^2$ и перекрестный момент $(\overline{xv})^2$. При анализе экспериментальных данных измеренные зависимости $x_{\text{з.к.сп.}}^2(\theta)$ аппроксимировались методом наименьших квадратов известными /5/ решениями системы уравнений для моментов второго порядка. В частности, для радиальной огибающей это решение имеет вид:

$$\overline{x^2} = C_1 + C_2 \cos 2\nu_x \theta + C_3 \sin 2\nu_x \theta + C_4 \cos \nu_x \theta,$$

где ν_x - частота бетатронных колебаний. Постоянные C_i линейным образом связаны с моментами функции распределения.

При рассмотрении приведенных выше характеристик пучка следует указать на два фактора. Во-первых, в пределах экспериментальной точности фазовый объем пучка при ускорении не изменяется, т.е.

Таблица

$E - E_0$ /МэВ/	$2\sqrt{\overline{\Delta E^2}}/E^2$ /%/	$2\sqrt{\overline{\epsilon^2}}$ /мрад·см/	Условия измерений
0,34	-	100±30	прямой пучок
0,58	2,6±1,5	96±25	в слабофокусирующем поле /после прохождения двух секций/
1,7*	2,2±1,6	34±12	в слабофокусирующем поле /после прохождения пяти секций/

*Измерения проводились при неполном напряжении модуляторов. В дальнейшем энергия была повышена до $E - E_0 = 2$ МэВ /по U_{Σ} / при токе пучка 1 кА.

выполняется соотношение $\epsilon\beta y = \text{inv} / \beta = \frac{v}{c}$ - относительная скорость частиц, y - релятивистский фактор/. Во-вторых, обращает на себя внимание малый энергетический разброс в пучке. Форма импульса ускоряющего напряжения такова, что длительность плоской вершины ускоряющего напряжения сравнима с длительностью фронтов, и следовало бы ожидать существенно больших значений $\Delta E/E$. Однако магнитная система канала инжекции обладает избирательностью по энергии. Подтверждением этого служит тот факт, что при прохождении через магнитную систему происходит укорочение длительности импульса тока пучка с $30 \div 35$ нс на входе до $10 \div 15$ нс в точке инжекции.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность Э.А.Перельштейну и Н.Ю.Казаринову за полезное обсуждение результатов измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Долбилев Г.В. и др. ОИЯИ, 9-82-339, Дубна, 1982.
2. Долбилев Г.В. и др. ОИЯИ, Р9-82-70, Дубна, 1982.
3. Инкин В.Д., Лебедев Н.И., Николаев В.П. ОИЯИ, 10-82-106, Дубна, 1982.
4. Азорский Н.И. и др. ОИЯИ, 13-81-163, Дубна, 1981.

5. Казаринов Н.Ю. и др. ОИЯИ, Р9-10985, Дубна, 1977.
 6. Саранцев В.П. и др. ОИЯИ, Р9-10053, Дубна, 1976.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

ДЗ-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
Д13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
Д1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
Д1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
Д11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
Д4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
Д4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
Д2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
Д10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
Д1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
Д17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
Д1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
Р18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
Д2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
Д9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
ДЗ,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.

Рукопись поступила в издательский отдел
 14 мая 1983 года.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
 Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Долбилов Г.В. и др. P9-83-307
Коллективный ускоритель тяжелых ионов КУТИ-20. СИЛУНД-20, системы управления, контроля и диагностики

Описывается состояние работ по созданию коллективного ускорителя тяжелых ионов КУТИ-20. Приведено описание систем инжектора КУТИ-20 - линейного индукционного ускорителя электронов СИЛУНД-20, а также первой очереди систем управления, контроля и диагностики. Ускоряющая система состоит из 5 секций, включающих по 24 индуктора. Каждая секция запитывается от генератора с импульсной мощностью 600 МВт. Фокусирующая система соленоидального типа обеспечивает магнитное поле в тракте до 4 кЭ. В конструкции ускорительного тракта использованы металлокерамические элементы. Система управления и контроля параметров выполнена на базе ЭВМ СМ-3, микро-ЭВМ "Электроника-60", контроллера КМ-001 и аппаратуры в стандарте КАМАК. Она имеет 52 канала синхронизации систем ускорителя с диапазоном регулирования 0 +5 мс с шагом до 1 нс. Система контролирует 100 параметров ускорителя. На выходе ускорителя СИЛУНД-20 получен пучок электронов с током 1 кА и энергией 2 МэВ. Исследования электронного пучка в слабофокусирующем магнитном поле адгезатора показали, что энергетический разброс составляет $\frac{\Delta E}{E} = /2,2 \pm 1,6/\%$, а эмиттанс $\epsilon = /34 \pm 12/$ мрад·см.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.
Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Dolbilov G.V. et al. P9-83-307
KUTI-20 Collective Heavy Ion Accelerator. SILUND-20 Running, Control and Diagnostics Systems

The state of affairs in creating the KUTI-20 collective heavy ion accelerator is described. The systems of KUTI-20 injector-linear induction electron accelerator SILUND-20, the first turn of the running, control and diagnostics systems are described. The accelerating part consists of 5 sections including 24 inductors each. Each section is supplied from a generator with 600 MW pulsed power. Focusing system of solenoidal type provides the magnetic field in a highway upto 4 kOe. Metal-ceramic elements are used in the construction of the accelerating highway. The parameter running and control system is realized on the base of the SM-3 computer, ELECTRONIKA 60-microcomputer, KM-001 computer, CAMAC-standard apparatus. It has 52 channels for synchronizing the accelerator systems with 0-5 ms range of regulation and with step upto 1 ns. The system controls 100 accelerator parameters. At the exit of the SILUND-20 accelerator the electron beam with 1 kA current and 2 MeV energy has been achieved. The investigations of the electron beam in the weak focusing magnetic field of adhesionator have shown that the energy spread is equal to $/2.2 \pm 1.6/\%$, and emittance $/34 \pm 12/$ mrad·cm. The investigation has been performed at the Department of New Methods and Acceleration, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983