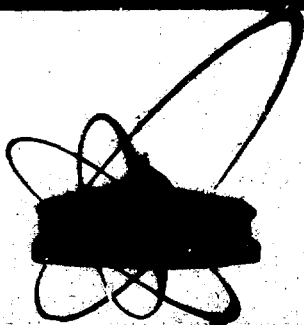


SU8405992



ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

P9-83-582

И.А.Шелаев, С.А.Аверичев, В.Г.Аксенов,  
В.С.Алфеев, А.М.Балдин, В.А.Белушкин,  
З.В.Борисовская, М.А.Воеводин, Л.П.Зиновьев,  
А.М.Донягин, И.Ф.Колпаков, Б.К.Курятников,  
В.И.Лобанов, Л.Г.Макаров, Е.А.Матюшевский,  
А.И.Михайлов, В.А.Мончинский, П.И.Никитаев,  
А.А.Смирнов, Г.П.Решетников, И.Турзо, И.П.Юдин

ПРОЕКТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ  
МОДЕЛЬНОГО СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО  
СИНХРОТРОНА ОИЯИ

Направлено на XII Международную конференцию  
по ускорителям высоких энергий  
/Батавия, США, 11-16 августа 1983 г./

1983

## ВВЕДЕНИЕ

В Лаборатории высоких энергий ОИЯИ в рамках разработки технического проекта нуклотрона /1/ в течение ряда лет исследуются СП /сверхпроводящие/ магниты с железным ярмом и полем 2,0-2,5 Т /2/. Такие магниты представляются наиболее экономичными и технологически простыми по сравнению как с обычными теплыми магнитами, так и СП магнитами с полем 5 Т. Успешные испытания отдельных дипольных магнитов, квадрупольных линз и трех прототипных ФОДО периодов 1,5-ГэВ модельного синхротрона /3/, все оборудование которых полностью изготавливалось в ЛВЭ, убедительно показали возможность сооружения СП ускорителя силами Лаборатории.

1,5-ГэВ модельный синхротрон ОИЯИ или, кратко, ускоритель СПИН, даст возможность экспериментально изучить все особенности изготовления и поведения СП магнитов, согласования СП магнитной системы с другими системами ускорителя, а также оценить надежность СП магнитов в эксплуатации. Накопленный при этом опыт будет иметь определяющее значение при проектировании и сооружении нуклотрона.

Вместе с тем значение СПИНа не ограничивается только задачами моделирования. Этот ускоритель в случае успешной работы может использоваться самостоятельно как накопитель поляризованных дейтронов, либо как генератор пучков быстрых ядер широкого спектра масс.

Уникально низкое давление, которое предполагается получить в холодной вакуумной камере СПИНа, позволит получать на нем пучки ядер или ионов практически любых элементов.

## СТРУКТУРА СПИНа

СПИН представляет собой сверхпроводящий синхротрон с разделенными функциями, основные параметры которого приведены в табл.1.

Таблица 1

Магнитная жесткость, Т·м	7,51
Периметр, м	54,0
Энергия протонов, ГэВ	1,50
Энергия ионов или ядер, Мэв/нуклон	2-526
Интенсивность частиц с зарядом Z, част./имп.	$1,5 \times 10^{11}/Z$
Частота повторения циклов ускорения, Гц	0,14

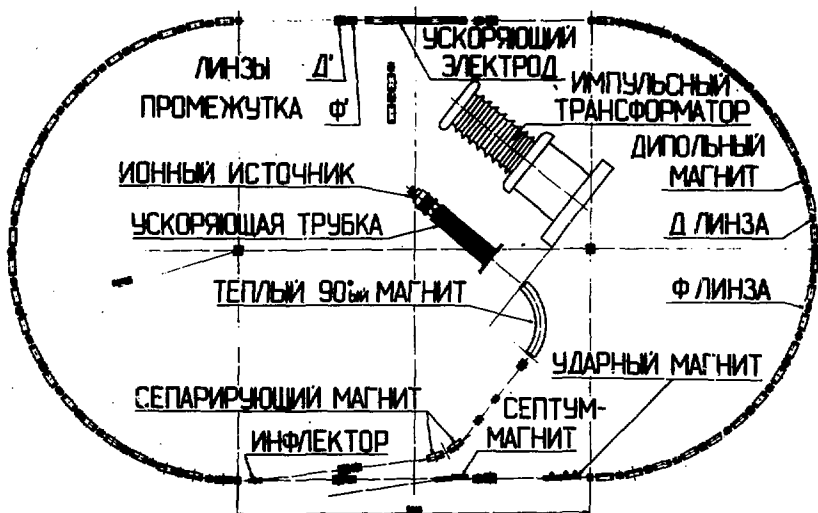


Рис.1. Общая схема ускорителя СПИИ.

Общая схема СПИИа приведена на рис.1. Ускоритель размещается в новом здании внешних пучков Лаборатории. Вид ускорителя во время монтажа показан на рис.2.

Как видно из рис.1, структура магнитной системы СПИИа включает два суперпериода, в каждом из которых содержится 12 регулярных 1,5-м ФОДО периода и один 9-м согласованный прямолинейный промежуток с набегом фазы  $\pi - 2\pi^{1/4}$ . Благодаря довольно большому числу регулярных периодов, частота бетатронных колебаний имеет величину 7,25 по горизонтали и 6,25 по вертикали. При этом вес одного СП магнита не превышает 50 кг, вследствие чего при изготовлении магнитов отпала необходимость применения специальных подьемно-транспортных устройств.

Регулярный период содержит два 42-см дипольных магнита, две 15-см квадрупольные линзы и четыре 9-см прямолинейных промежутка. В них размещаются соединения вакуумных камер соседних периодов, вертикальный /или горизонтальный/ пикап-электрод, соединение вакуумной камеры с теплым магниторазрядным насосом /или датчиком давления/ и безжелезные СП корректоры магнитного поля.

Длина согласованного промежутка выбрана с таким расчетом, чтобы обеспечить достаточное пространство для размещения оборудования ввода и быстрого вывода пучка в одном промежутке, ускорения - в другом. Согласование 9-и промежутков достигается за счет уменьшения длины Ф-линз, примыкающих к промежутку регу-



Рис.2. Вид ускорителя в момент монтажа.

лярных периодов, и за счет установки в промежутке двух пар  $\Phi$  и  $D$  согласующих квадрупольных линз.

Инжектором СПИНа служит импульсный электростатический ускоритель с ускоряющим потенциалом 0,75 МВ, размещенный внутри кольца синхротрона на специальной платформе. Указанная в табл.1 интенсивность определяется кулоновским пределом при столь низкой энергии инжекции. В канале инжекции пучка установлен один теплый  $90^\circ$ -поворотный магнит, переводящий вертикальный пучок инжектора в горизонтальную плоскость, и одна теплая квадрупольная линза. Остальные магнитные элементы канала /два поворотных магнита и четыре квадрупольные линзы/ идентичны СП магнитам и линзам синхротрона. Однооборотный ввод пучка осуществляется импульсным электростатическим инфлектором с потенциалом 24 КВ.

Длительность цикла ускорения в 7 с определяется сейчас источником питания поворотных магнитов /48 В, 2500 А/, хотя сами магниты сохраняют работоспособность при уменьшении длительности цикла до  $1с/3/$ .

## СП МАГНИТЫ СПИНА

Дипольные СП магниты типа оконной рамы имеют параметры, приведенные в первой колонке табл.2. Магнитное поле в них создается однослойной СП обмоткой и близко расположенным ярмом из 0,5-мм трансформаторной стали. Ярмо при индукции до 2,3 Т вдвое снижает требуемые ампер-витки возбуждения, формирует поле с высокой однородностью и воспринимает действующие на СП обмотку силы. При изготовлении магнита ярмо с предварительно закрепленной на нем корпусной изоляцией используется как шаблон, на который наматывается СП обмотка. Геометрические размеры фиксируются эпоксидным компаундом. Основная обмотка магнита выполнена плоским кабелем резерфордского типа с размерами без изоляции 0,92x3,8 мм<sup>2</sup> /в линзах 0,92x3,4/, состоящим из 15 /в линзе 13/ СП проводов диаметром 0,5 мм, каждый из которых содержит 10<sup>4</sup>5 ниобий-титановых 10-мкм нитей. Помимо основной, на полюсах магнитов установлены корректирующие плоские обмотки.

Таблица 2

Магнитное поле, Т	2,27	-
Градиент, Т/м	-	87,5
Номинальный ток обмотки, А	2070	1630
Физическая длина магнита, м	0,42	0,15
Размеры ярма /ширина x высота/, м <sup>2</sup>	0,15x0,14	0,15x0,11
Апертура, мм <sup>2</sup>	55x55	64x32
Число витков основной СП обмотки	48	112
Индуктивность, мГн	1,5	0,67
Запасенная энергия, КДж	3,3	0,87

Все магниты и линзы ускорителя уже изготовлены. Внешний вид магнита и Ф и Д линз показан на рис.3. Дипольные магниты и линзы регулярных периодов измерены при комнатной температуре и частично - при температуре жидкого гелия. Измерения проводились индукционными катушками при импульсном питании магнита<sup>15/</sup>. При комнатной температуре магнит возбуждался током амплитудой 50 А и длительностью 20 мс, а в жидком гелии - 2 кА и 3 с. На рис.4 приведены результаты теплых измерений интегрального поля 48 диполей, измеренных длинной катушкой. Примерно такой же, как указан на рис.4, разброс имеют диполи по полю в центре /короткая измерительная катушка/. Вычисленная по этим данным эффективная длина магнитов приведена на рис.5.

В жидком гелии на сегодня измерены поля в 10 магнитах. Критический ток магнитов составил 2000 А и выше и достигался после 4-7 переходов. В основном разброс полей в измеренных диполях совпадает с результатами теплых измерений. Насыщение ярма наблю-

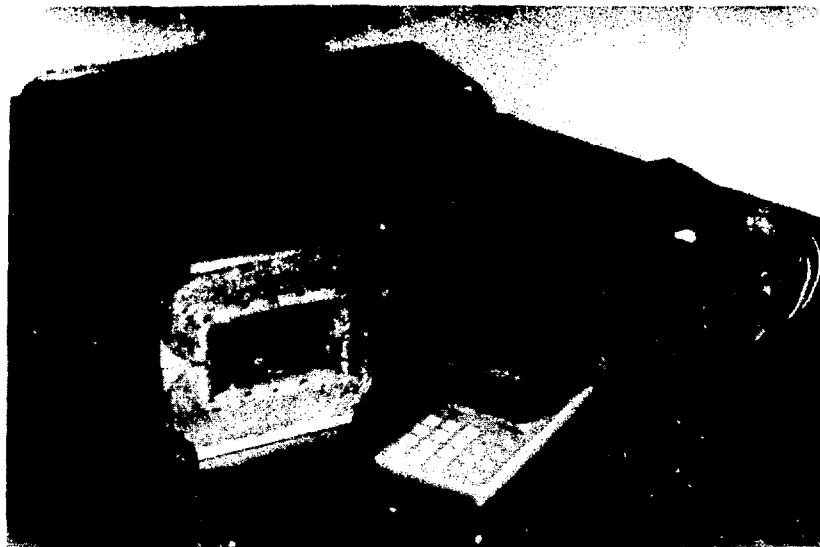


Рис. 3. Дипольный магнит, Ф и Д квадрупольные линзы.

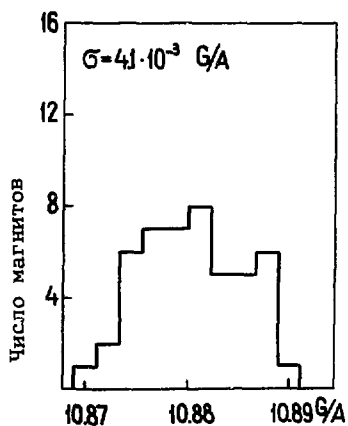


Рис. 4. Интегральное поле 48 дипольных магнитов.

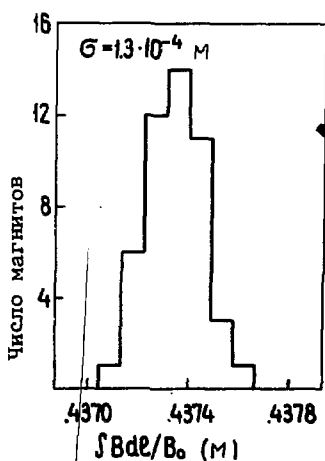


Рис. 5. Длина дипольных магнитов по полю.

дается, начиная с 1,6 Т по интегральному полю и с 1,8 Т - по полю в центре. Это объясняется сравнительно небольшой длиной магнитов и значительным влиянием быстро насыщающихся торцов. Однако благодаря небольшим размерам ярма по сравнению с апертурой насыщение приводит к тому, что при поле 2,3 Т отношение поле/ток примерно на 5% меньше, чем в линейной области.

Квадрупольные линзы типа линз Пановского изготавливались по той же технологии, что и магниты. Параметры линз приведены во второй колонке табл.2. Линзы регулярных периодов имеют прямоугольную апертуру /рис.3/, хорошо согласующуюся с огибающей пучка в них, поэтому одна половина обмотки каждого полюса этих линз имеет 2 слоя.  $\Phi$  и  $D$  линзы согласованного промежутка имеют квадратную апертуру 76x76 и 99x99 мм<sup>2</sup> соответственно, длину 0,24 и 0,28 м и рассчитаны на максимальный градиент 68 и 52 Т/м так, что величина поля на однослойной обмотке этих линз не превышает 3,6 Т, как и в линзах регулярного периода. СП обмотка линз согласованного промежутка выполнена 15-проводным кабелем, используемым в диполях.

Результаты теплых измерений градиента в линзах регулярных периодов показаны на рис.6,7. Видно, что разброс градиента в линзах почти в 10 раз больше разброса поля в диполях. По-видимому, это связано с чрезвычайно малым отношением длина/апертура линз и сравнительно низкой точностью выполнения обмотки на торцах. Холодные измерения полей в линзах только начались. Критический ток в первых двух испытанных линзах соответствует расчетному.

Анализ нелинейностей полей в магнитах и линзах по результатам измерений показывает, что амплитуды высших гармоник не превышают 0,2-0,3% основной на радиусе, составляющем 90% радиуса СП обмотки, в линейной области полей.

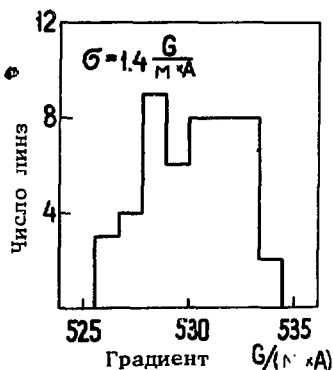


Рис.6. Интегральный градиент 48 квадрупольных линз.

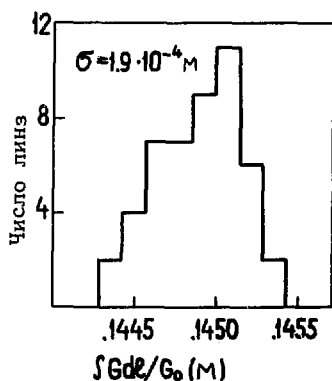


Рис.7. Длина квадрупольных линз по градиенту.

## ДРУГИЕ СИСТЕМЫ УСКОРИТЕЛЯ

Высокочастотный генератор СПИНа вследствие низкой энергии инжекции должен обеспечивать очень большой диапазон изменения частоты. Так, при ускорении протонов минимальная частота равна 0,22 МГц, максимальная - 5,12 МГц. Осуществить такое перекрытие частот с помощью перестраиваемого ферритами резонатора не представляется возможным, поэтому ускорение частиц в СПИНе будет выполняться пролетным 3-м электродом диаметром 57 мм. Электрод размещен в центре прямойлинейного промежутка. Эффективность использования напряжения на таком электроде в режиме первой гармоники частоты обращения /протоны/ равна 35%, но будет существенно выше при ускорении тяжелых ионов или ядер.

Прирост энергии синхронной частицы в СПИНе равен 120 В за оборот благодаря небольшому периметру ускорителя и малой скорости роста поля. Поэтому для запуска ускорителя подготовлен транзисторный генератор мощностью 400 Вт, развивающий на ускоряющем электроде напряжение амплитудой 250 В. В дальнейшем мощность генератора будет увеличена.

Вакуумная камера ускорителя изготовлена из нержавеющей стали толщиной 0,5 мм<sup>16/</sup>, и в рабочих условиях камера всего ускорителя, включая часть канала инжекции, находится при температуре жидкого гелия. Холодная и теплая части камеры в канале инжекции разделяются быстродействующим механическим затвором, снижающим натекание остаточного газа из теплой в холодную часть. Соединения всех элементов камеры выполнены сварными, а на границах периодов - с помощью разъема типа конфлэт с медной прокладкой. При изготовлении камеры каждого периода проходили многочасовую вакуумную тренировку при температуре 450°C с целью удаления растворенного в стенках водорода. Конструкция камеры и магнитов допускает ее перегрев на месте при температуре 150°C. Как показал опыт с тремя прототипными периодами<sup>13/</sup>, такая технология изготовления и подготовки камеры позволяет получить в ней давление ниже 10<sup>-13</sup> Тор при температуре жидкого гелия благодаря сорбционным свойствам стенок камеры. Предварительная откачка вакуумной камеры будет осуществляться магниторазрядными насосами, размещенными через период по всему периметру ускорителя.

Гелиевый криостат типа кипящей ванны представляет собой трубу из нержавеющей стали диаметром 280 мм, внутри которой размещены все элементы ускорителя. Криостат каждого периода имеет опору в виде цилиндрического лабиринта, внутренний цилиндр которого изготовлен из стеклотекстолитовой трубы диаметром 145 мм. Внутри криостата все СП магнитные элементы периода установлены на дюралюминиевой балке, центр которой совпадает с опорой криостата, снабженной юстировочным устройством. Криостаты соседних периодов соединяются между собой сифоном, все соединения криостатов выполнены сварными со швами многократного пользования.



Снаружи гелиевый криостат покрыт 50 слоями 12-мкм алюминизированным лавсаном и окружен теплым вакуумным кожухом с общим изолационным вакуумом для всего ускорителя. Объем жидкого гелия в криостате равен 1000 л.

Гелиевый рефрижератор, предназначенный для охлаждения СПИНа и поддержания в нем рабочей температуры, расположен в том же зале, что и ускоритель, на расстоянии 60 м от последнего. Общий теплоприток СПИНа, по оценкам, составит примерно 300 Вт в статике и увеличится примерно на 100 Вт при работе СП магнитной системы. Мощность рефрижератора 1800 Вт значительно превышает указанную величину теплопритока СПИНа.

Управление ускорителем будет осуществляться с помощью трех мини-ЭВМ типа MERA-60, обеспечивающих программное управление током в поворотных магнитах, Ф и Д линзах регулярных периодов и в линзах согласованных промежутков, а также частотой и амплитудой ускоряющего напряжения. С помощью ЭВМ будут проводиться сбор и обработка информации с пикап-электродов, датчиков интенсивности пучка, давления в вакуумных объемах и гелиевом криостате, температуры и пр. На пульте ускорителя будет также представлена информация о состоянии рефрижератора.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оборудование регулярных периодов ускорителя СПИН в основном уже изготовлено. Сейчас изготавливается оборудование прямолинейных участков и ведется монтаж ускорителя и его внешних систем. На изготовление всех 110 СП магнитов СПИНа потребовалось около 3 т трансформаторной стали и 150 кг сверхпроводника. По-видимому, этот ускоритель будет самым легким, с минимальной начальной стоимостью. Предполагается также, что расходы на его эксплуатацию будут также невелики. Их величина определится после пуска ускорителя, намеченного на следующий год.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Балдин А.М. и др. В сб.: Труды IV Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. "Наука", М., 1975, т.11, с.4-8.
2. Аверичев С.А. и др. ОИЯИ, Р8-11700, Дубна, 1978.
3. Шелаев И.А. и др. ОИЯИ, Р9-82-383, Дубна, 1982.
4. Шелаев И.А., Юдин И.П. ОИЯИ, 9-11745, Дубна, 1978.
5. Воеводин М.А. и др. В сб.: Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. ОИЯИ, Дубна, 1981, т. II, с. 290-293.
6. Алфеев В.С. и др. ОИЯИ, Р9-81-339, Дубна, 1981.

Рукопись поступила в издательский отдел  
11 августа 1983 года

Шелаев И.А. и др.

P9-83-582

Проектные параметры модельного  
сверхпроводящего синхротрона ОИЯИ

Приведены основные проектные параметры 1,5-ГэВ модельного синхротрона со сверхпроводящей магнитной системой. Синхротрон предназначен для получения опыта сооружения и эксплуатации сверхпроводящих ускорителей. Обсуждаются вопросы изготовления сверхпроводящих магнитов, а также результаты измерений параметров магнитного поля готовых магнитов и квадрупольных линз при комнатной температуре и температуре жидкого гелия.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Shelaev I.A. et al.

P9-83-582

Design Features of a Model  
Superconducting Synchrotron of JINR

The main design parameters of 1.5 GeV model synchrotron with a superconducting magnetic system are presented. The synchrotron is intended for deriving experience of constructing and exploitation of superconducting accelerators. The problems of production of superconducting magnets and the results of measuring the magnetic field parameters of ready magnets and quadrupole lenses at room temperature and at liquid helium temperature are discussed.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой

12 коп.

Редактор Б.В. Колесова. Машист Н.А. Киселевой.  
Набор И.Г. Андреевой.

Подписано в печать 07.09.83.

Формат 68x98/16. Цветная печать. Уч.-изд. листов 0,79.

Тираж 360. Заказ 33407.

Редакционный отдел Объединенного института ядерных исследований.  
Дубна Московской области.