

A-646

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

238/2-71

1/11-71

P9 - 5488



ОТДЕЛ НОВЫХ МЕТОДОВ УСКОРЕНИЯ

Н.Г. Анищенко, Н.И. Балалыкин, В.А. Васильев,
Ю.С. Дерендяев, А.Г. Зельдович, Н.К. Зельдович,
Ю.В. Муратов, Н.Б. Рубин, А.А. Сабаев,
В.П. Саранцев, Ю.И. Смирнов, В.Г. Шабратов,
Ю.А. Шишов

ПРОГРЕСС
В СОЗДАНИИ УСКОРИТЕЛЬНОЙ СЕКЦИИ
КОЛЬЦЕТРОНА

1970

P9 - 5488

Н.Г. Анищенко, Н.И. Балалыкин, В.А. Васильев,
Ю.С. Дерендяев, А.Г. Зельдович, Н.К. Зельдович,
Ю.В. Муратов, Н.Б. Рубин, А.А. Сабаев,
В.П. Саранцев, Ю.И. Смирнов, В.Г. Шабратов,
Ю.А. Шишов

ПРОГРЕСС
В СОЗДАНИИ УСКОРИТЕЛЬНОЙ СЕКЦИИ
КОЛЬЦЕТРОНА

Доклад на II-ом всесоюзном совещании
по ускорителям заряженных частиц
Москва, 1970 г.

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

В качестве вероятного прообраза ускоряющей системы коллективного линейного ускорителя ионов в Дубне разрабатывается криогенная высокочастотная ускорительная секция кольцетрона /1/.

Секция (рис. 1) состоит из четырех сверхпроводящих ускоряющих резонаторов, сверхпроводящих соленоидов, создающих управляющее продольное магнитное поле, и отдельных криогенных систем для охлаждения резонаторов и соленоидов. Рабочая длина секции 1,6 м. Секция должна позволить промоделировать случай, когда среднее ускоряющее поле для ионов равно ≈ 2 Мэв/см, и рассчитана на тепловые потери $30 + 35$ вт/м. Мощность в.ч. генераторов ≈ 6 квт/м должна подаваться с различной скважностью (в зависимости от режимов работы) вплоть до непрерывного режима.

За истекший после Ереванской конференции год научно-исследовательские работы в связи с созданием ускоряющей секции велись по пяти основным направлениям.

а) Продолжались исследования с.в.ч. сопротивлений сверхпроводников второго рода с целью выбора подходящего материала для покрытия внутренних поверхностей резонаторов. При этом в соответствии с реальными условиями в кольцетроне измерения с.в.ч. сопротивлений проводились

при наличии внешнего магнитного поля, направленного как параллельно, так и перпендикулярно исследуемой поверхности. При этом величина магнитного поля превышала значение первого критического поля.

б) Разрабатывалась установка для нанесения сверхпроводящих покрытий на резонаторы в максимально "чистых" условиях, и осуществлялись пробные нанесения сверхпроводящих пленок на модельной установке.

в) Изучались способы создания магнитного поля требуемой конфигурации с помощью сверхпроводящих обмоток. Были изготовлены и испытаны модельный соленоид и пробные корректирующие катушки.

г) Разрабатывались детали системы термостатирования.

д) Продолжались теоретические и расчетные работы по нахождению распределений токов в обмотках для создания заданного магнитного поля.

1. Исследование в.ч. сопротивлений сверхпроводящих поверхностей.

Для исследований была применена методика, описанная в /1,2/. Эксперименты проводились в диапазоне 500 Мгц на коаксиальных полуволновых резонаторах, выполненных из сплавов типа ниобий-цирконий и ниобий-титан, при низких уровнях в.ч. полей.

Сверхпроводящий резонатор принято характеризовать коэффициентом увеличения добротности F , равным отношению добротности сверхпроводящего резонатора Q_c к добротности аналогичного медного резонатора Q_m при комнатной температуре: $F = Q_c / Q_m$.

Была исследована группа сверхпроводящих образцов, поверхность которых обрабатывалась различными механическими и термическими способами. Для некоторых образцов фактор добротности в 3 раза меньше в поперечном поле до 10 кэ в сравнении со случаем нулевого поля. Наибольшее падение коэффициента F равнялось 5. Экстраполяция полученных величин для поперечного поля $B = 20$ кэ при $T = 1,8$ °К

дает $F = 600 - 1000$. Для сравнения следует отметить, что фактор добротности при внешнем продольном поле $B = 20$ кэ и $T = 1,8^{\circ}\text{K}$ получился равным 2000.

В дальнейшем предполагается провести измерения в.ч. сопротивления сверхпроводников в высокочастотных полях средней мощности.

2. Нанесение сверхпроводящих покрытий

В процессе совершенствования способа получения СП покрытий, описанного в /1/, был разработан ионный метод, позволяющий вести процесс при давлении остаточных газов $P = 1 + 5 \cdot 10^{-7}$ торр, что способствует получению пленок, более чистых по химическому составу. Скорость образования пленки при этом различная, в зависимости от рода материала, и значительно выше по сравнению с получаемой другими способами. Так, например, для Nb скорость образования пленки на два порядка выше, чем при термическом испарении. С целью отладки режимов получения СП покрытий и доводки теплонагруженных узлов электроннолучевой пушки проводилась нанесение СП на различные образцы из меди: ленточки $180 \times 4 \times 0,1$ мм, пластинки $180 \times 50 \times 1,5$ мм, трубки $\varnothing 3$ мм длиной 300 мм (напылялась внутренняя поверхность) и другие, более сложной формы. Необходимо отметить, что получающиеся покрытия не требуют последующей механической обработки по чистоте поверхности. Последняя зависит от класса чистоты подложки и соответствует ему.

Контроль толщины пленки производился кварцевым резонатором. Основная частота кварца $f = 500$ кгц, частотный коэффициент $N = 1690$.

Для статических исследований сверхпроводящих свойств нанесенного ниобия использовался медный образец $180 \times 4 \times 0,1$ мм; толщина пленки ниобия ≈ 5 мкм. По снятой вольт-амперной характеристике

образца определялся критический ток $I_{кр.} = 34$ а. Плотность тока $\approx 1,7 \times 10^5$ а/см². Это соответствует критическому полю ниобия.

3. Сверхпроводящие соленоиды

Ведущее магнитное поле 20 кэ создается соленоидом прямоугольного сечения. Требуемая однородность поля 0,15% в ионопроводе обеспечивается в результате подбора токов в 96 корректирующих катушках. Прорабатываются два варианта обмоток соленоида: 1) из полностью стабилизированной ленты (см. таблицу); 2) из внутренне стабилизированного проводника. В первом случае предусматривается кратковременный нагрев обмоток для избавления от наведенных при создании поля паразитных токов, как это делается в соленоиде камеры ВЕВС ^{/3/}. Во втором случае ожидается быстрое затухание наведенных токов за счет скрутки нитей с шагом около 30 мм.

Для отработки конструкции и технологии изготовления соленоида, а также испытания устройств обеспечения жидким гелием, энергоснабжения и эвакуации запасенной энергии изготовлена и испытана сверхпроводящая магнитная система с соленоидом внутренним диаметром 35 см ^{/4/}. В этом соленоиде достигнута напряженность поля 25 кэ при токе в полностью стабилизированной ленте 1,8 ка.

К корректирующим катушкам предъявляется ряд жестких требований:

- 1) максимальная плотность тока в обмотке $2 \cdot 10^4$ а/см;
- 2) независимое питание всех катушек;
- 3) точное воспроизведение напряженности поля при одном и том же токе.

Испробованы катушки ниобий-циркониевой проволоки ϕ 0,25 мм (в латунном покрытии). Однако их критические токи получились невысокими и имели большой разброс. Поэтому решено перейти на катушки из кабеля с внутренней стабилизацией (см. таблицу).

Для питания катушек и соленоида создаются полупроводниковые источники на номинальные токи 100 а и 5000 а.

Аварийную эвакуацию запасенной энергии предполагается производить на дугогасительную решетку автомата гашения поля. В этом случае процесс идет при постоянном напряжении на концах соленоида, поэтому время эвакуации в 5 раз меньше, чем при использовании постоянного активного разрядного сопротивления (без учета активно связанных с обмоткой соленоида контуров). Обеспечение быстрого вывода энергии особенно важно в случае применения проводников с внутренней стабилизацией, обладающих на порядок большими плотностями тока, чем полностью стабилизированные.

4. Система термостатирования

В систему термостатирования секции включены ожижитель производительностью около 80 л жидкого гелия в час и два сосуда, установленных над секцией.

Принципиальная схема установки показана на рис. 2. Гелий сжимается компрессором К до давления $P_1 = 30$ ат, проходит через противоточные теплообменники I-IV, ванну жидкого азота, стабилизирующую гелиевую ванну C_1 , и при $T = 5^{\circ}\text{K}$ входит в расширительный эжектор Э.

После эжектора гелий попадает в сосуд C_2 с температурой $T_2 = 4,5^{\circ}\text{K}$. Жидкий гелий из сосуда C_2 поступает в нижние точки криостатов секции, газообразный - частично в обратный ток ожижителя,

Таблица
Основные параметры сверхпроводящего соленоида и
корректирующих катушек

	Соленоид	Катушка
Напряженность магнитного поля	20 кэ	0 - 4 кэ
Внутренний диаметр по обмотке	60 см	17 см
Внешний диаметр	72 см	21 см
Длина	240 см	1,7 см
Рабочий ток	2100 а	0 - 70 а
Плотность тока в обмотке	2670а/см^2	$0 - 2 \cdot 10^4\text{а/см}^2$
Запасенная энергия	1,1 Мдж	785 дж
Сечение провода	2 x 25 мм ²	0,5 мм
Индуктивность	0,5 гн	0,32 гн

частично - на охлаждение электровыводов соленоида и катушек. Кроме того, происходит дросселирование жидкости из сосуда C_2 в сосуд C_3 , имеющий $T_3 = 1,8^\circ\text{K}$. Здесь также происходит естественная циркуляция сверхтекучего гелия через резонаторы: испаренный гелий отсасывается эжектором. Ванна C_1 служит для поддержания постоянной температуры перед эжектором.

Схема с эжектором позволяет отказаться от чрезвычайно громоздких насосов для откачки гелия и сокращает размеры теплообменников.

5. Расчеты токов корректирующих катушек

Для поддержания радиального размера кольца в ускоряющей системе используется продольное магнитное поле $\approx 20 \text{ кэ}$. Условие ускорения колец под действием постоянной силы требует создания специальной периодической модуляции этого поля.

Распределение токов, создающих требуемое магнитное поле, было рассчитано на ЭВМ с использованием минимизации функционала /5/

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \frac{V_i - V_i(r_i, z_i, I_j)}{\Delta V_i}$$

Здесь V_i - требуемая функция параметров I_j в точке r_i, z_i .
 $V_i(r_i, z_i, I_j)$ - функция при фиксированных параметрах I_j в точке r_i, z_i . I_j - неизвестные токи в 96 корректирующих катушках. ΔV_i - точность поддержания магнитного поля в точке r_i, z_i .

Литература

1. Н.Г. Анищенко, А.С. Алексеев, Н.И. Балалыкин, А.А. Белушкина, В.А. Васильев, И.Н. Гончаров, Ю.С. Дерендяев, А.Г. Зельдович, Н.К. Зельдович, А.Б. Кузнецов, Ю.В. Муратов, Н.Б. Рубин, А.А. Сабаев, В.П. Саранцев, Ю.И. Смирнов, И.С. Хухарева, В.Г. Шабратов, Ю.А. Шишов. Криогенная высокочастотная секция кольцедрона, Препринт ОИЯИ, Р9-4722, Дубна, 1969.
2. Н.Б. Рубин, А.А. Сабаев, Ю.И. Смирнов, И.С. Хухарева, В.Г. Шабратов, Исследование поверхностного СВЧ сопротивления сверхпроводников 2 рода. Препринт ОИЯИ, Р8-4785, Дубна, 1969.
3. European Bubble Chamber. CERN Courier, No. 2, vol. 10, Febr., 1970.
4. Н.Г. Анищенко, В.А. Васильев, В.Я. Волков, А.Г. Зельдович, Н.К. Зельдович, Д.В. Зельдович, Ю.А. Шишов. Сверхпроводящая магнитная система с соленоидом внутренним диаметром 35 см. Препринт ОИЯИ, 8-4882, Дубна, 1969.
5. С.Н. Соколов, И.Н. Силин. Нахождение минимумов функционалов методом линеаризации. Препринт ОИЯИ, Д-810, Дубна, 1961.

Рукопись поступила в издательский отдел

9 декабря 1970 года.

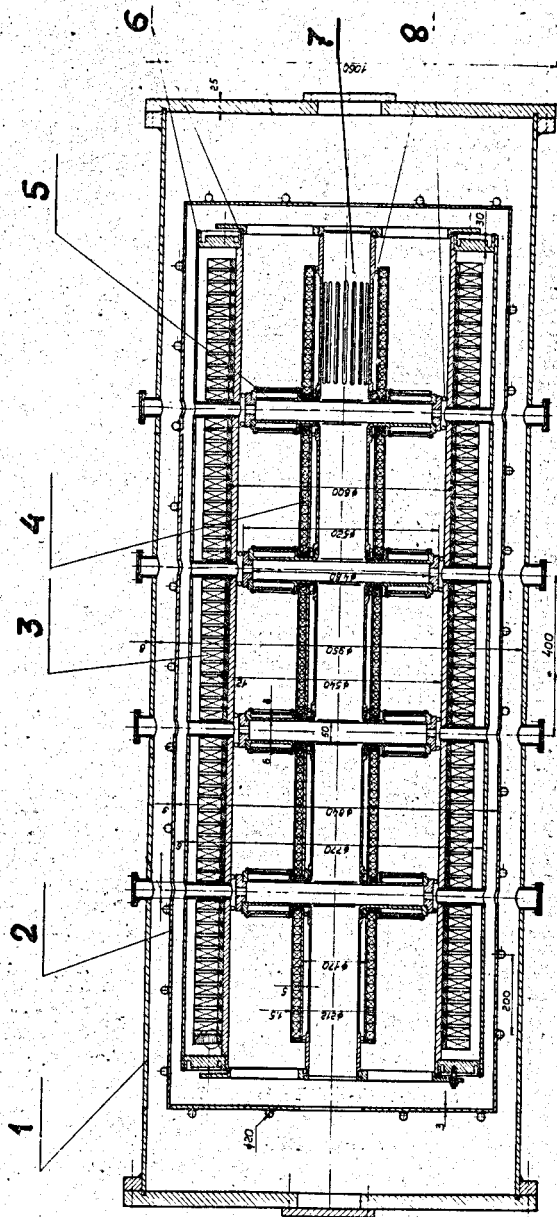


Рис. 1. Криогенная высокочастотная ускорительная секция кольцедрона.

1. Вакуумный кожух.
2. Азотный экран (78° К).
3. Сверхпроводящий соленоид продольного магнитного поля.
4. Сверхпроводящие корректирующие катушки.
5. Резонатор.
6. Гелиевый криостат.
7. Перфорированные фокусирующие трубы.
8. Стальные опорные шарники.

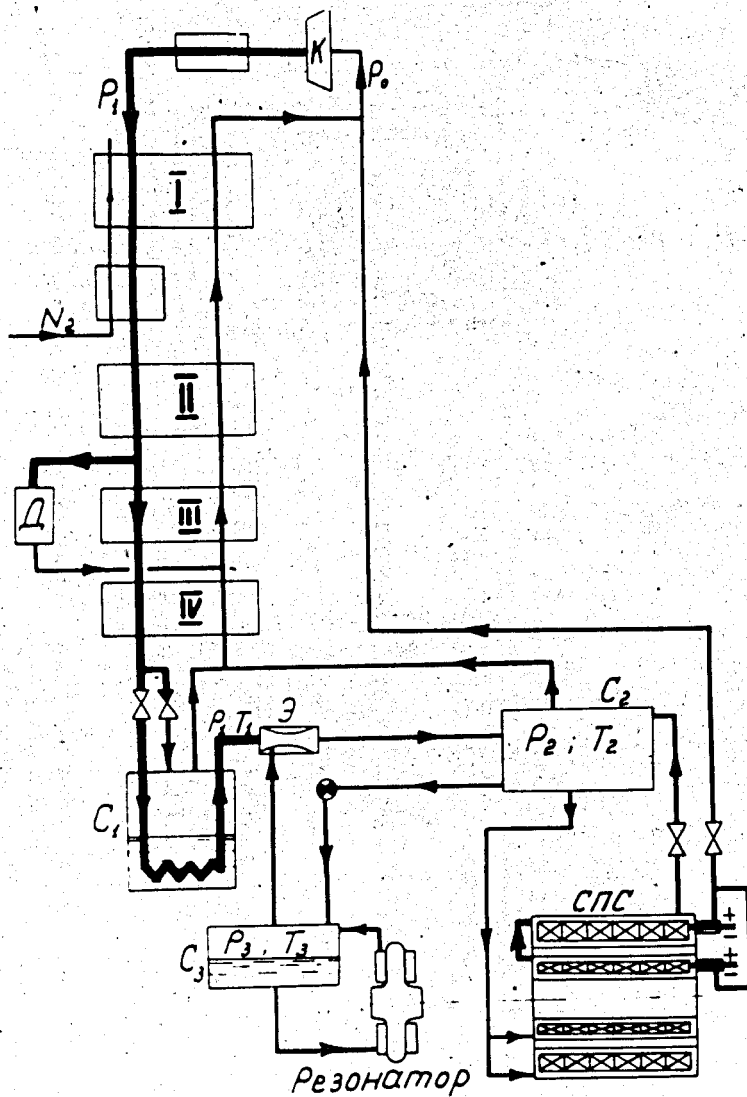


Рис. 2. Принципиальная схема системы термостатирования секции кольцетрона.