

38

И Н С Т И Т У Т
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СОАН СССР

ПРЕПРИНТ И Я Ф 75 - 75

В. В. Анашин, Г. И. Будкер, А. Ф. Булушев,
Н. С. Диканский, Ю. А. Королёв, Н. Х. Кот,
В. И. Куделайнен, В. И. Кушнир, А. А. Лившиц,
И. Н. Мешков, Л. А. Мироненко, В. В. Пархомчук,
В. Е. Пелеганчук, Д. В. Пестриков, В. Г. Пономаренко,
А. Н. Скринский, Б. М. Смирнов, Б. Н. Сухина, А. П. Усов

НАКОПИТЕЛЬ ПРОТОНОВ НАП - М.
I. МАГНИТНАЯ И ВАКУУМНАЯ СИСТЕМЫ

Новосибирск

1975

НАКОПИТЕЛЬ ПРОТОНОВ НАЦ-М
I. МАГНИТНАЯ И ВАКУУМНАЯ СИСТЕМЫ

В.В.Анашин, Г.И.Будкер, А.Ф.Булушев, Н.С.Диканский, Ю.А.Королёв,
Н.Х.Кот, В.И.Куделайнен, В.И.Кушнир, А.А.Лившиц, И.Н.Мешков,
Л.А.Мироненко, В.В.Пархомчук, В.Е.Пелеганчук, Д.В.Пестриков,
В.Г.Пономаренко, А.Н.Скринский, Б.М.Смирнов, Б.Н.Сухина,
А.П.Усов

А Н Н О Т А Ц И Я

В статье описываются магнитная и вакуумная системы накопителя протонов, предназначенного для экспериментов по электронному охлаждению /1,2/. Выбранная схема - магниты с однородным полем и краевой фокусировкой, длинные прямолинейные промежутки - определяются спецификой электронного охлаждения. Прогревная вакуумная камера, откачиваемая магнитно-разрядными и сорбционными насосами, обеспечивает рабочий вакуум до $2 \cdot 10^{-10}$ Торр.

Для постановки эксперимента по электронному охлаждению /1,2/ и ИЯФ СО АН СССР был построен накопитель НАП-М, который одновременно является моделью антипротонного накопителя НАП /3/.

Параметры НАП-М приведены в таблице:

Параметры накопителя	Проектные	Параметры на энергии эксперимента
Энергия протонов, МэВ	до 150	30-80
Энергия инжекции, МэВ	1,5	1,5
Средний радиус орбиты, м	7,5	
Радиус кривизны в магнитах, м	3,0	
Количество прямолинейных промежутков	4	
Количество магнитов	4	
Тангенс среза краев магнита	0,579	
Числа бетатронных колебаний за оборот, радиальных	I, I-I,4	I,34
	I,4-I-I	I,24
Кoeffициент пространственного уплотнения орбит	I, I-07	0,8
	0-I80	110
Критическая энергия, МэВ		
Размер вакуумной камеры в поворотных магнитах, радиальный, см	10	
Размер вакуумной камеры на участке охлаждения, см		6
Частота ускоряющего напряжения		
Инжекция		0,36
при энергии 65 МэВ		2,23
Ускоряющее напряжение		10 в
Порядок гармоника ВЧ		I

В качестве инжектора протонов использован электростатический ускоритель, работающий в импульсном режиме. Ток инжекции I мА. Стабильность энергии $3 \cdot 10^{-4}$. Инжекция однооборотная, впуск частиц по вертикали с отклонением на угол $3^{\circ}30'$ с помощью импульсного электростатического инфлектора.

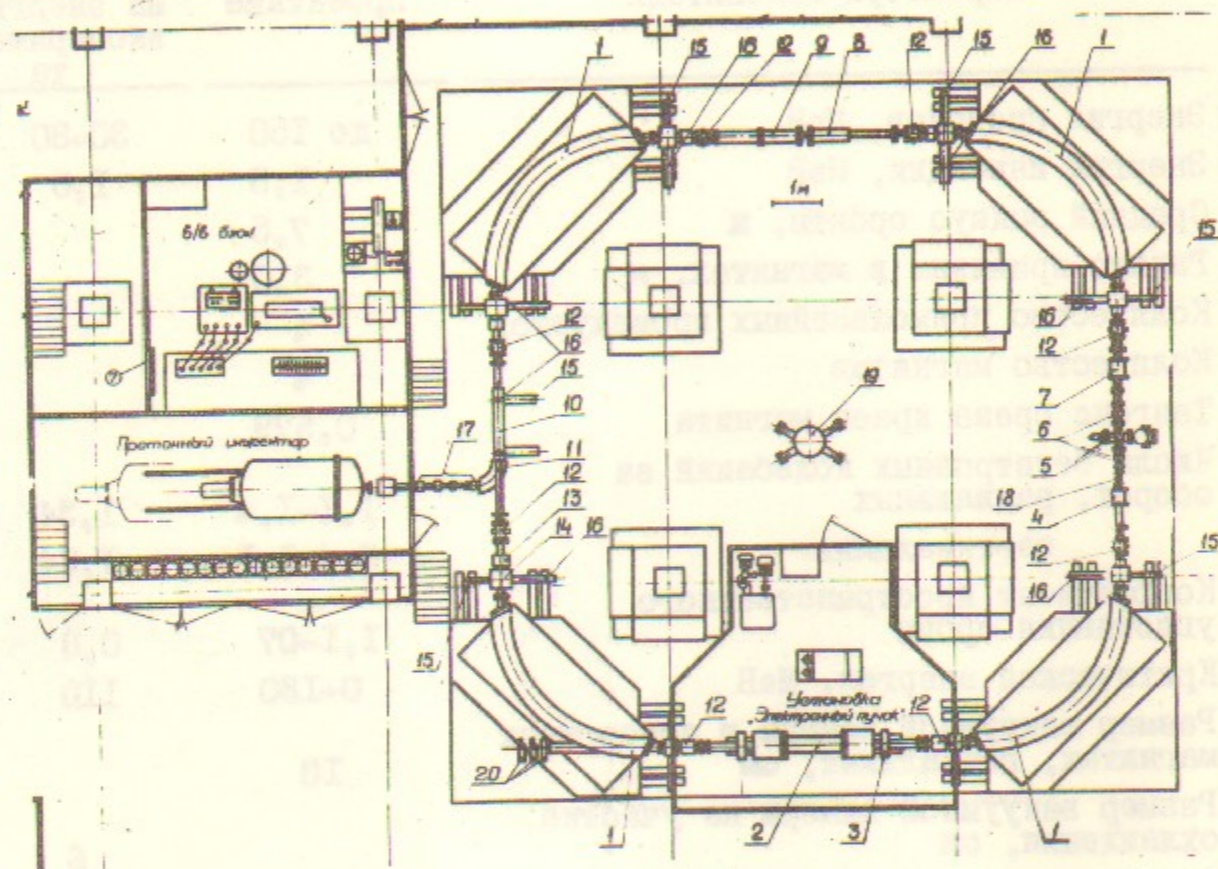


Рис.1. Схема накопителя НАИП-М

1 - магниты; 2 - установка с электронным пучком; 3 - корректирующий магнит; 4 - пробник со сцинтиллятором; 5 - магниевая струя; 6 - вакуумные клапана; 7 - магнитометр; 8 - резонатор; 9 - дефлектор; 10 - инфлектор; 11 - впускной магнит; 12 - пикап-станция; 13 - корректирующий элемент; 14 - узел откачки; 15 - телекамера; 16 - апертурный пробник; 17 - канал инжекции; 18 - пояс Роговского; 19 - геодезический знак; 20 - счетчики нейтралов.

Схема накопителя представлена на рис.1.

Проектирование установки и изготовление отдельных узлов было начато в ноябре 1971 года. В сентябре 1973 года приступили к работе с циркулирующим пучком. До апреля 1974 года проводилось исследование протонного пучка, характеристик накопителя, отработка ВЧ-системы и управления от ЭВМ. В мае 1974 года начаты эксперименты по электронному охлаждению.

1. Магнитная система накопителя.

Специфика электронного охлаждения определяет требования к магнитной системе.

Эффективность охлаждения возрастает пропорционально доле орбиты, занятой электронным пучком, поэтому накопитель должен обладать длинными прямолинейными промежутками для размещения установок с электронным пучком.

В накопителе антипротонов важно обеспечить захват частиц с возможно большим разбросом по импульсу. Для этого необходимо использовать фокусирующую систему с динамическим подобием орбит. Выбранная система с нулевым градиентом и краевой фокусировкой удовлетворяет этим требованиям.

Магниты накопителя нешихтованные, выполнены из железа АРМКО, имеют 0-образный профиль (рис.2.). Точность зазора между полюсами $\pm 0,05$ мм обеспечивается шлифованием обечаек (поз.9 на рис.2). При таких допусках магнитного зазора максимальное радиальное искажение орбиты не превышает 5 мм. Для компенсации искажения орбиты за счет неточности зазора в магнитах расположены корректирующие витки (поз.3 на рис.2), позволяющие изменять поле независимо в каждом квадрате в пределах $\pm 10^{-3}$ на энергии инжекции.

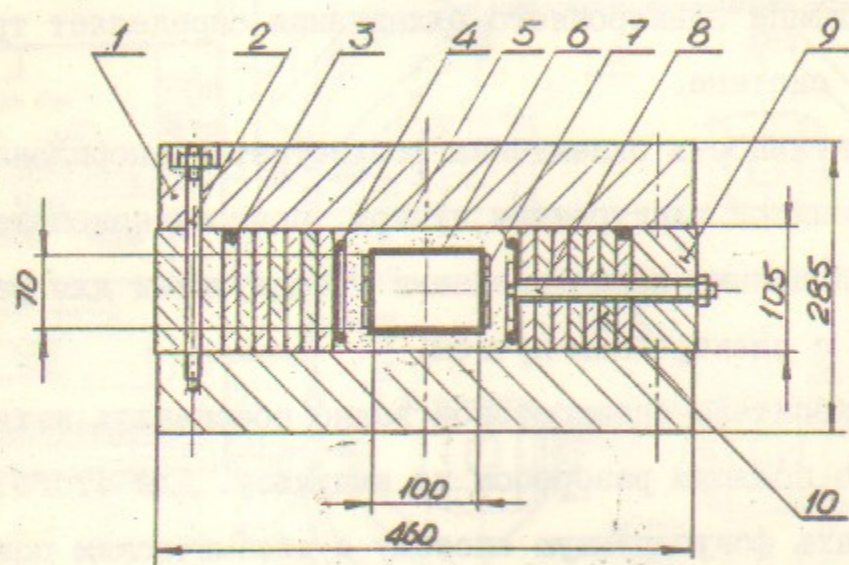


Рис.2. Поперечный разрез магнитопровода.

- 1 - полюс, 2 - шпилька, 3 - виток, 4 - водоохлаждаемый экран, 5 - теплоизоляция, 6 - вакуумная камера, 7 - нагреватели, 8 - шпилька, 9 - обечайка, 10 - шины.

На концах прямолинейных промежутков расположены 8 корректирующих элементов (КЭ), представляющие собой 0-образные магниты и содержащие дипольные, квадрупольные, секступольные обмотки. Необходимая конфигурация поля создается формой обмоток и способом их включения. Дипольные обмотки создают поля до 130 э для X-Z коррекции орбиты в пределах ± 3 см на энергии 65 МэВ. Квадрупольные обмотки создают градиент поля до 12 э/см; что позволяет перестраивать частоты бетатронных колебаний $\Delta\nu = \pm 0,05$ при максимальной энергии.

На рис.3 показаны расчетные зависимости бетатронных частот ν_x, ν_z коэффициента уплотнения орбит α и критической энергии $E_{кр}$, от тангенса угла среза краев магнитов. Точками показаны экспериментальные значения бетатронных частот на энергии инжекции в зависимости от величины градиента в КЭ.

На рис.4 показано смещение положения рабочей точки за счет изменения эффективного тангенса угла среза. Регулировка рабочей точки производится при помощи градиентных обмоток КЭ, которые представляют собой тонкие квадрупольные линзы, расположенные у края магнита. В точке 1 критическая энергия ниже энергии инжекции. Максимальное время жизни протонов и оптимальный режим ускорения протонов получены в рабочей точке 2. В этой точке $\nu_x = 1,34, \nu_z = 1,24$, критическая энергия составляет 110 МэВ.

Бетатронные частоты измерялись методом внешней раскачки. На рис.5 приведена характерная осциллограмма. Наличие связи приводит к раскачке обеих степеней свободы, независимо от того, на какие пластины подано напряжение раскачки, горизонтальные или вертикальные, поэтому на осциллограмме видны 3 сигнала. Первый соответствует частоте обращения, равной 360 кГц, второй и третий

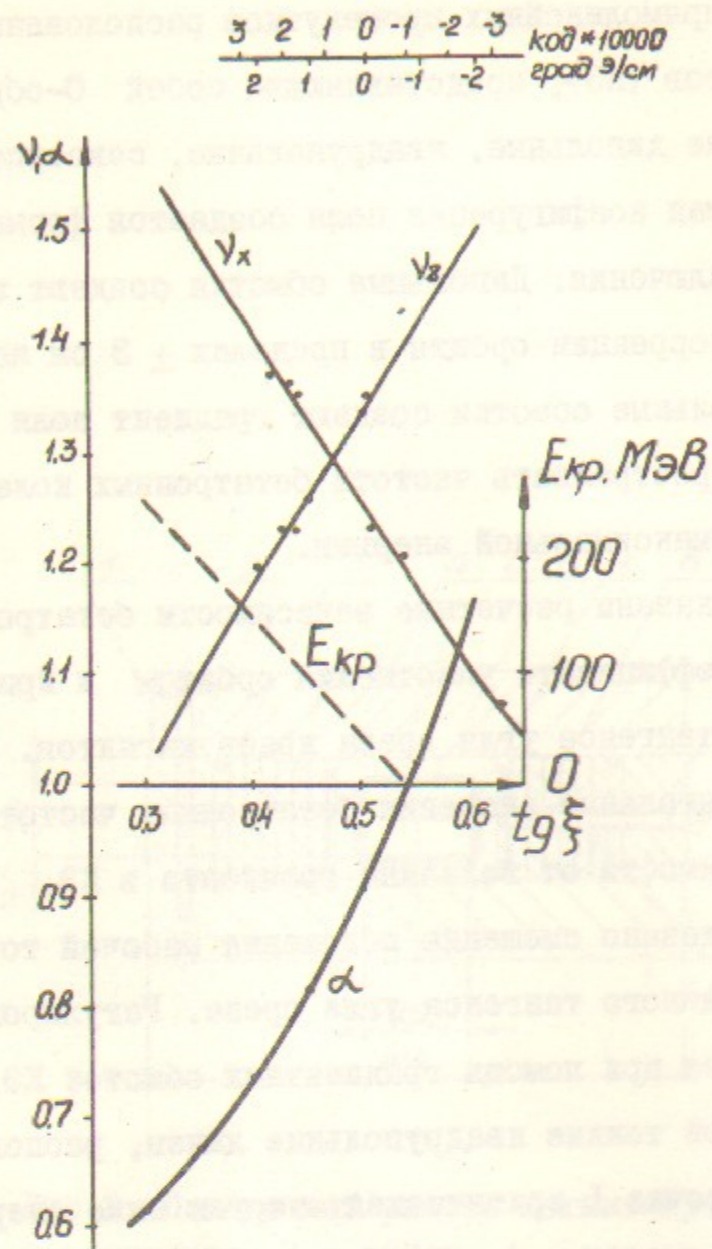


Рис.3. Зависимость ν_x , ν_z критической энергии $E_{кр}$ и коэффициента уплотнения орбит от тангенса угла среза края магнитов (расчет). Точками показаны измеренные значения чисел бетатронных колебаний за оборот в зависимости от значения градиента корректирующих элементов.

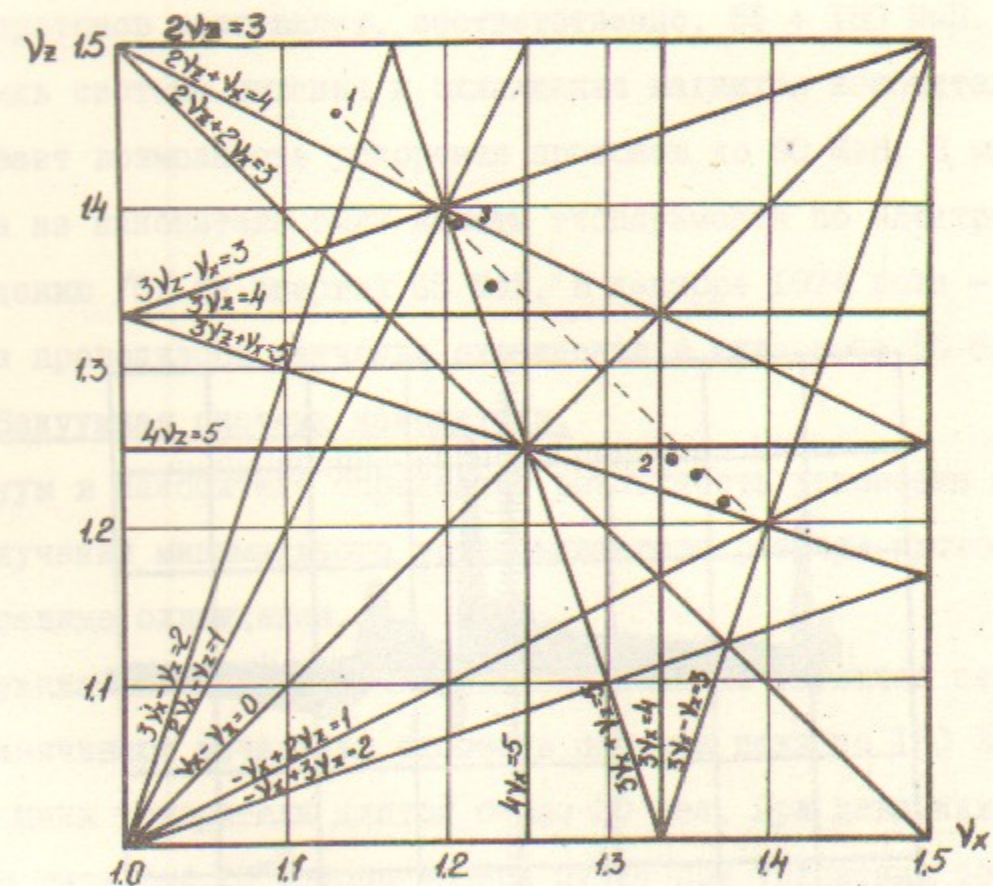


Рис.4. Диаграмма бетатронных чисел.

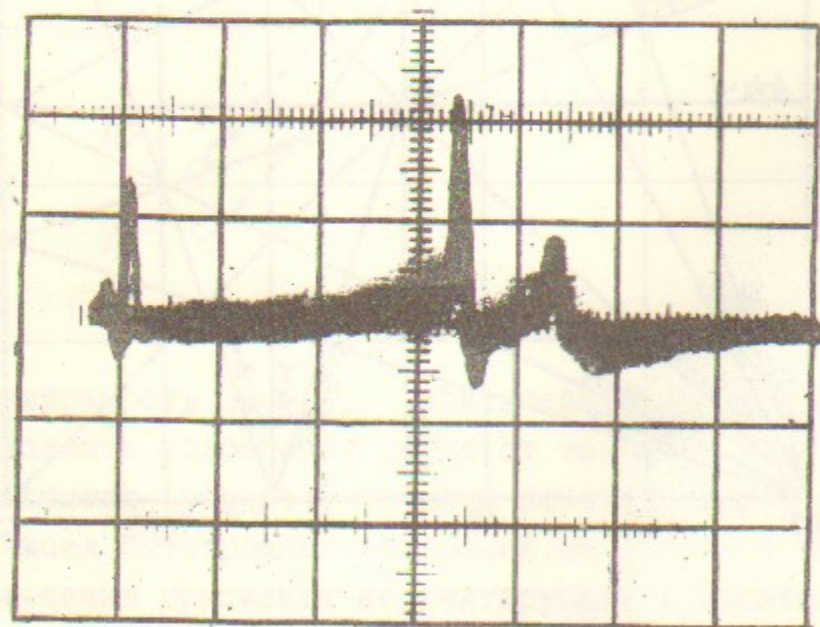


Рис.5. Осциллограмма при измерениях бетатронных частот.

соответствуют бетатронным частотам с $\nu_x = 1,34$ и $\nu_z = 1,24$.

Положение рабочей точки практически не меняется во время ускорения (точностью до $\Delta\nu \approx \pm 0,02$).

Выбор максимальной энергии накопителя НАП-М определялся параметрами установки с электронным пучком, расположенной в промежутке охлаждения (поз.2 рис.1), которая создает на участке длиной 1 м электронный пучок с током до 1 А при энергии электронов 30-100 КэВ (стабильность энергии $1 \cdot 10^{-4}$, отношение поперечной скорости электронов и продольной $\leq 5 \cdot 10^{-3}$). При равенстве скоростей протонов и электронов в режиме охлаждения /1/ энергия протонов составляет, соответственно, $55 + 180$ МэВ. Первая очередь системы питания и охлаждения магнитов накопителя обеспечивает возможность ускорения протонов до 90 МэВ. В мае 1974 года на накопителе были начаты эксперименты по электронному охлаждению /5/ на энергии 65 МэВ. В декабре 1974 года - марте 1975 года проводилось изучение охлаждения в диапазоне 30-80 МэВ.

2. Вакуумная система накопителя.

Вакуум в накопителе определяет возможность ускорения протонов и получения минимального установившегося размера протонного пучка в режиме охлаждения.

Индукционные токи в неэкранированных полюсах магнитов накопителя ограничивают начальную скорость подъема поля до 150 Э/сек, при этом цикл ускорителя длится около 30 сек. При давлении остаточного газа $2-4 \cdot 10^{-9}$ Торр потери пучка при ускорении составляют $5 + 30\%$. При этом время жизни протонного пучка (время уменьшения интенсивности в e раз) на энергии инжекции достигает 10 сек.

Вакуумная система накопителя обеспечивает получение остаточного давления в основной части накопителя $5 \cdot 10^{-11}$ Торр.

Прогревная вакуумная камера выполнена из нержавеющей стали. Конструкция позволяет проводить нагрев камеры без разборки магнитов (рис.2). Температура прогрева до 300°C . Система вакуумных клапанов дает возможность рассекать вакуумную камеру на отдельные участки и проводить замену узлов и их частичный прогрев без развакуумирования всей вакуумной системы. На концах прямолинейных промежутков расположены 8 откачных узлов (рис.6), включающих в себя магниторазрядный насос производительностью 300 л/сек и сорбционный насос с титановыми испарителями. Вакуум в районе откачного узла составляет $1 \cdot 10^{-11}$ Торр.

На краях участка охлаждения установлены два дополнительных откачных узла с магниторазрядными насосами 150 и 300 л/сек и сорбционными титановыми насосами. Камера установки с электронным пучком непрогревная и определяет среднее по орбите значение остаточного давления.

Среднее по орбите давление находилось из измерений зависимости времени жизни протонного пучка от апертуры проводились также измерения среднего вакуума по сворачиванию пучка, циркулирующего в постоянном магнитном поле накопителя, за счет ионизационных потерь при энергии 65 МэВ. Для измерения положения пучка использовался апертурный пробник, пересекающий протонный пучок. При этом рассеянные на его краю протоны регистрировались сцинтилляционным счетчиком, расположенным на другом конце промежутка.

Оба метода дали среднее значение вакуума $2 \cdot 5 \cdot 10^{-10}$ Торр.

В настоящий момент заканчивается изготовление прогревного

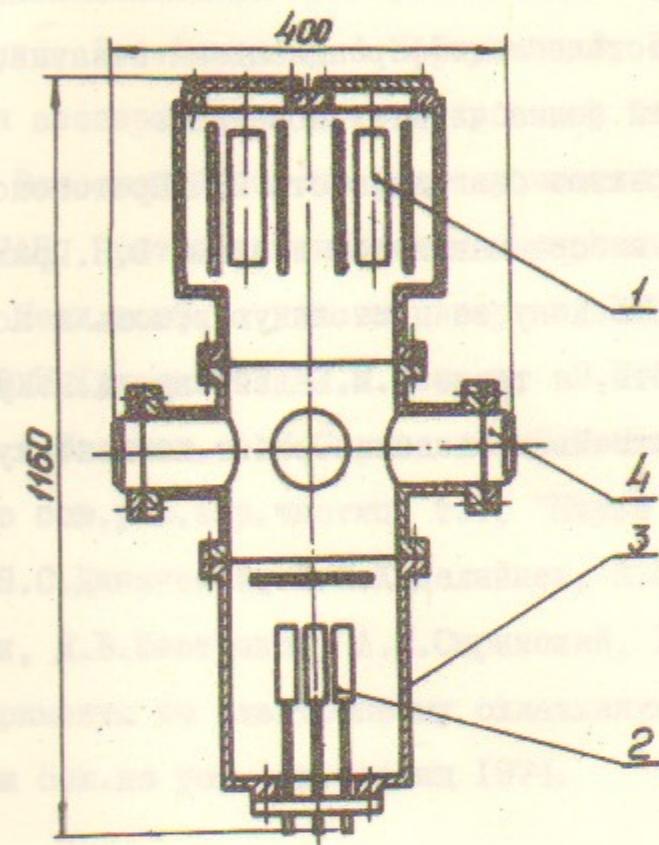


Рис.6. Схема откачного узла.

1 - магниторазрядный насос; 2 - титановые испарители;
3 - корпус; 4 - фланец.

варианта камеры установки с электронным пучком и улучшенной откачкой на участке охлаждения.

Инжектор, в ускорительной трубке которого давление порядка $5 \cdot 10^{-6}$ Торр, соединяется с накопительным кольцом каналом, в котором осуществлена дифференциальная откачка, обеспечивающая перепад давлений более четырех порядков.

Авторы выражают благодарность И.Я.Протопопову за полезные обсуждения при выборе магнитной системы В.Н.Приходько, Э.М.Трахтенбергу и А.С.Шведову за постоянную помощь и поддержку при выполнении работы, а также В.М.Белейчеву, А.П.Кулакову, М.Ф.Лысенкову за участие в проведение работ по монтажу и наладке накопителя.

Л и т е р а т у р а

1. Г.И.Будкер, АЭ, 1967, 22, 346.
2. В.В.Анашин, Г.И.Будкер, Н.С.Диканский, В.И.Куделайнен, А.С.Медведко, И.Н.Мешков, В.В.Пархомчук, Д.В.Пестриков, В.Г.Пономаренко, Р.А.Салимов, А.Н.Скринский, Б.Н.Сухина, Установка для экспериментов по электронному охлаждению, доклад на IV Всесоюзном сов.по уск.зар.частиц, 1974.
3. Группа ВАПШ-НАП. Протон-антипротонные встречные пучки, доклад на VIII Межд.конф.по уск.выс.энергии, ЦЕРН, 1971.
4. Г.И.Будкер, В.И.Куделайнен, И.Н.Мешков, В.Г.Пономаренко, С.Г.Попов, Р.А.Салимов, А.Н.Скринский, Б.М.Смирнов, Труды II Всесоюзного сов.уск.зар.частиц, т.1, "Наука", 31,1972.
5. Г.И.Будкер, Н.С.Диканский, В.И.Куделайнен, И.Н.Мешков, В.В.Пархомчук, Д.В.Пестриков, А.Н.Скринский, Б.Н.Сухина, Первые эксперименты по электронному охлаждению, доклад на IV Всесоюзном сов.по уск.зар.частиц 1974.

Работа поступила 15 мая 1975г.

Ответственный за выпуск Г.А.Спиридонов.

Подписано к печати 1.9-75г. МН 07462

усл. 1,0 печ.л. тираж 200 экз. бесплатно

Заказ № 75.

Отпечатано на ротационной машине ИЯФ СО АН СССР, пр.