

СЗУСеЗ

3-635

18/IX-72

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

3190/2-72

9 - 6537



Л.П.Зиновьев, И.Б.Иссинский, В.С.Мионов,
С.А.Новиков, В.И.Черников

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

СЕПТУМ-МАГНИТ И ЛИНЗА
ДЛЯ МЕДЛЕННОГО ВЫВОДА ПУЧКА
ИЗ СИНХРОФАЗОТРОНА

1972

9 - 6537

Л.П.Зиновьев, И.Б.Иссинский, В.С.Миронов,
С.А.Новиков, В.И.Черников

СЕПТУМ-МАГНИТ И ЛИНЗА
ДЛЯ МЕДЛЕННОГО ВЫВОДА ПУЧКА
ИЗ СИНХРОФАЗОТРОНА

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Введение

Постепенное отделение частиц, получивших резонансную раскачку в процессе медленного вывода, от циркулирующего пучка осуществляется с помощью С-образного магнита, имеющего тонкий проводник (септум) на наружном краю зазора /1/.

В синхрофазотроне этот магнит отклоняет частицы на небольшой угол (≈ 10 мрад) для заброса во второй, более сильный магнит, служащий для вывода пучка за пределы вакуумной камеры ускорителя /2/. Угол отклонения пучка частиц $\beta = B\ell / B_Y R_Y$, где B - поле в септум-магните, ℓ - его эффективная длина, составляющая в нашем случае - 1,7 м, B_Y , R_Y - поле и радиус ускорителя, соответственно. Для максимальной энергии протонов, ускоренных в синхрофазотроне, поле в септум-магните составляет 0,19 тл, при токе питания в импульсе - 9,9 ка.

Поскольку потери частиц при выводе пропорциональны толщине септума, конструктивные усилия, как правило, сосредотачиваются на создании предельно тонкого септума. Толщина септума может быть выбрана из следующего соотношения:

$$s = \frac{B_Y R_Y \beta}{\mu_0 \ell j} \sqrt{\frac{t_{\text{ИМП}}}{t_{\text{Ц}}}}$$

где j - допустимая эффективная плотность тока в а/м^2 ; $t_{\text{имп.}}$ - длительность импульса, форма которого принята прямоугольной; $t_{\text{ц}}$ - длительность цикла ускорителя; $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$ система СИ). Это дает при $j = 15 \cdot 10^6 \text{ а/м}^2$ септума - 2 мм.

При прохождении краевого магнитного поля квадранта ускорителя отклоненный пучок испытывает значительную дефокусировку в радиальном направлении. Это вызывает необходимость применения магнитной линзы, которая располагается на пути пучка после магнита. В выводной системе синхрофазотрона применена квадрупольная линза с прямоугольной апертурой ^{/3/}. Линза имеет нейтральный полюс в виде тонкой пластины из магнитного материала, также называемой септумом. Поле внутри этой "полулинзы" изменяется по закону:

$$B_z = g x ,$$

где B_z - вертикальная составляющая магнитного поля, g -градиент поля в линзе, $x \geq 0$ -горизонтальная координата. Градиент поля связан с током I в обмотках линзы зависимостью $g \approx 2\mu_0 NI / b \delta$, где N - число витков на полюс, b -ширина магнитного зазора, δ -его высота. Для описанной конструкции линзы $g \approx 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ I}$. Расчетная величина g для максимальной энергии протонов составляет 1,4 тл/м ^{/2/}.

Септум-магнит и квадрупольная линза, получившие название "форммагнит" (ФМ) и "форлинза" (ФЛ), располагаются во II-ом прямолинейном промежутке вакуумной камеры синхрофазотрона (рис. 1). Они установлены на механизме горизонтального перемещения, с помощью которого в конце каждого цикла ускорения вводятся в рабочее положение (рис. 2). Вследствие напряженного теплового режима для охлаждения обмоток форммагнита и форлинзы используется водяное охлаждение.

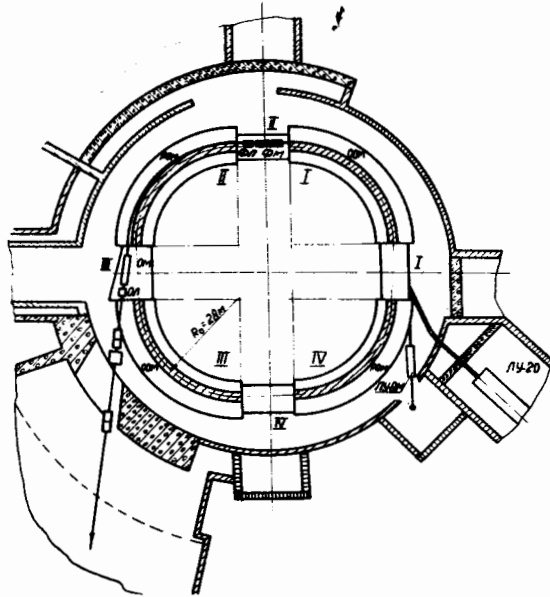


Рис. 1. Схема расположения формагнита (ФМ) и форлинзы (ФЛ) в системе медленного вывода. РОМ – резонансные обмотки, ОМ – основной магнит, ОЛ – основная линза.

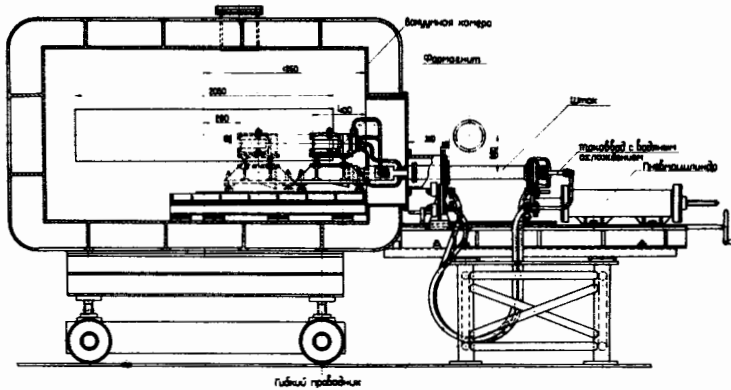


Рис. 2. Формагнит, форлинза и механизм их перемещения.

Конструкция формгнита

Формагнит имеет сердечник, собранный из стали марки Э-42. Пластины толщиной 0,35 мм покрыты электроизоляционным лаком № 628 и склеены в пакеты клеем БФ-4. Пакеты собраны на стальных шпильках, между пакетами вставлены силовые кронштейны. С помощью этих кронштейнов сердечник ФМ крепится к опорной плите, установленной на механизме передвижения.

Обмотка ФМ имеет один виток и расположена по обе стороны зазора. Септум представляет собой токонесущую пластину толщиной 2 мм. Длина септума - 1770 мм. По обе стороны имеются теплоотводящие лепестки, прорези между которыми не позволяют протекать току вне зазора (рис. 3). Для водяного охлаждения к лепесткам припаяны две трубки из нержавеющей стали с толщиной стенок 0,5 мм. Кроме того лепестки септума служат для его закрепления на сердечнике с помощью двух изолированных прижимов из нержавеющей стали П-образной формы (рис. 4). От сердечника лепестки изолированы стеклотекстолитовой прокладкой. В углах зазора для изоляции септума применена лавсановая пленка толщиной 0,2 мм. Прижимы септума крепятся к силовым кронштейнам специальными винтами, закрепленными на силовых шпильках сердечника. Винты проходят через лепестки и изолированы от них фторопластовыми втулками.

Внутренняя часть обмотки состоит из четырех спаяных медных проводников квадратного сечения со стороной 11,2 мм и отверстием диаметром 8,5 мм для охлаждающей воды. По центру витка впаяна медная пластина, которая увеличивает эффективное сечение проводника и используется для его закрепления внутри зазора к силовым кронштейнам с помощью шпилек. Септум и внутренний проводник ФМ соединены между собой торцовыми полыми проводниками через коллекторы. Вода последовательно проходит септум и внутренний проводник. Давление на входе в систему - 3 ат.

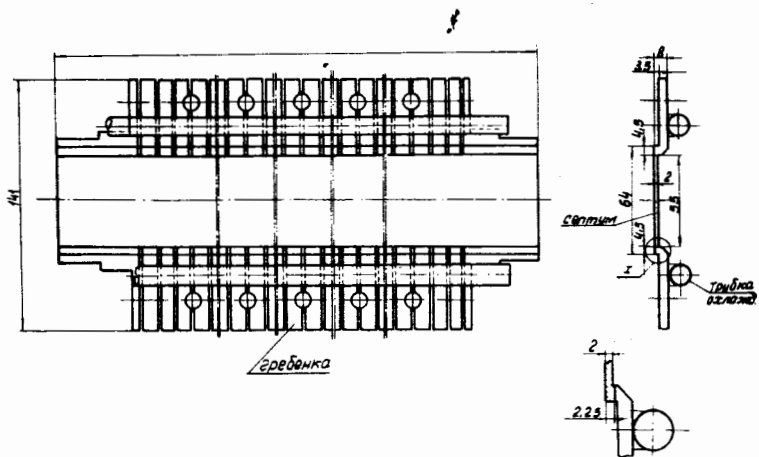


Рис. 3. Конструкция септума формагнита.

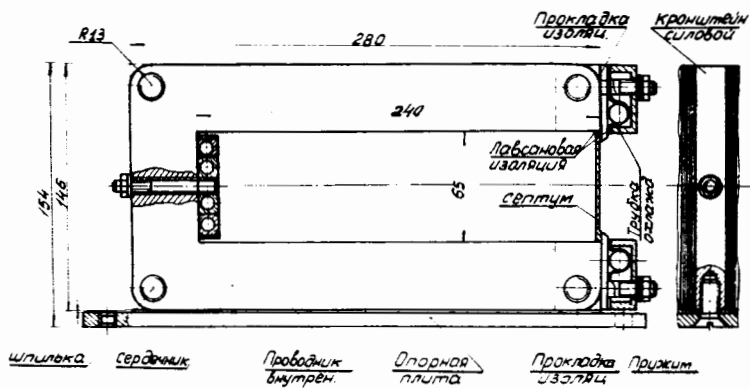


Рис. 4. Сечение формагнита.

На пути пучка в формагнит помещен экран с координатной сеткой, покрытой светящимся составом $ZnS(Ag)$. Экран служит для визуального наблюдения за выводимым пучком с помощью телевизионной системы. Изображение передается на пульт управления ускорителем.

Конструкция форлинзы

Форлинза расположена на одной подставке с формагнитом. Форма и поперечные размеры сердечника линзы те же, что и у ФМ (при их изготовлении использовался общий штамп). Сердечник собран аналогично сердечнику ФМ.

Обмотка выполнена из ленточных проводников, которые располагаются на верхнем и нижнем полюсах линзы (рис. 5). Обратные витки обмотки собраны во внутренней части зазора. Количество витков обмотки — по семи на полюс. Проводники изолированы стеклотентой и залиты под вакуумом эпоксидной смолой. Сечение витка $28,5 \times 3 \text{ мм}^2$. Обмотка прижата к сердечнику линзы коробом из нержавеющей стали. Его форма повторяет форму обмотки ФЛ. Короб прикрепляется к кронштейнам на торцах форлинзы и охлаждается водой, протекающей по трубкам. Поскольку вода, поступающая на охлаждение короба, проходит через токовводы, питающие ФЛ, в трубках необходим разрыв по току. Для этого использованы вставки из нейлона.

От наружного пространства зазор заэкранирован пластиной-септумом толщиной $0,35 \text{ мм}$ из стали Э-42.

Токовводы

Токовводом в вакуумную камеру служит шток форсистемы, внутри которого проходят четыре медных полых проводника, охлаждаемых водой. Соединения с обмотками выполнены через переходники и герметич-

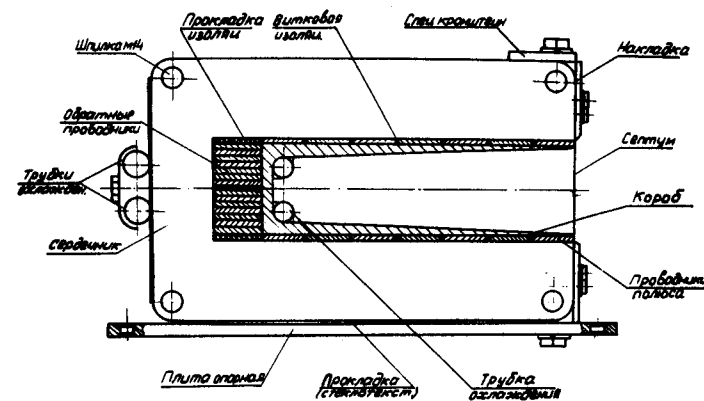


Рис. 5. Сечение форлинзы.

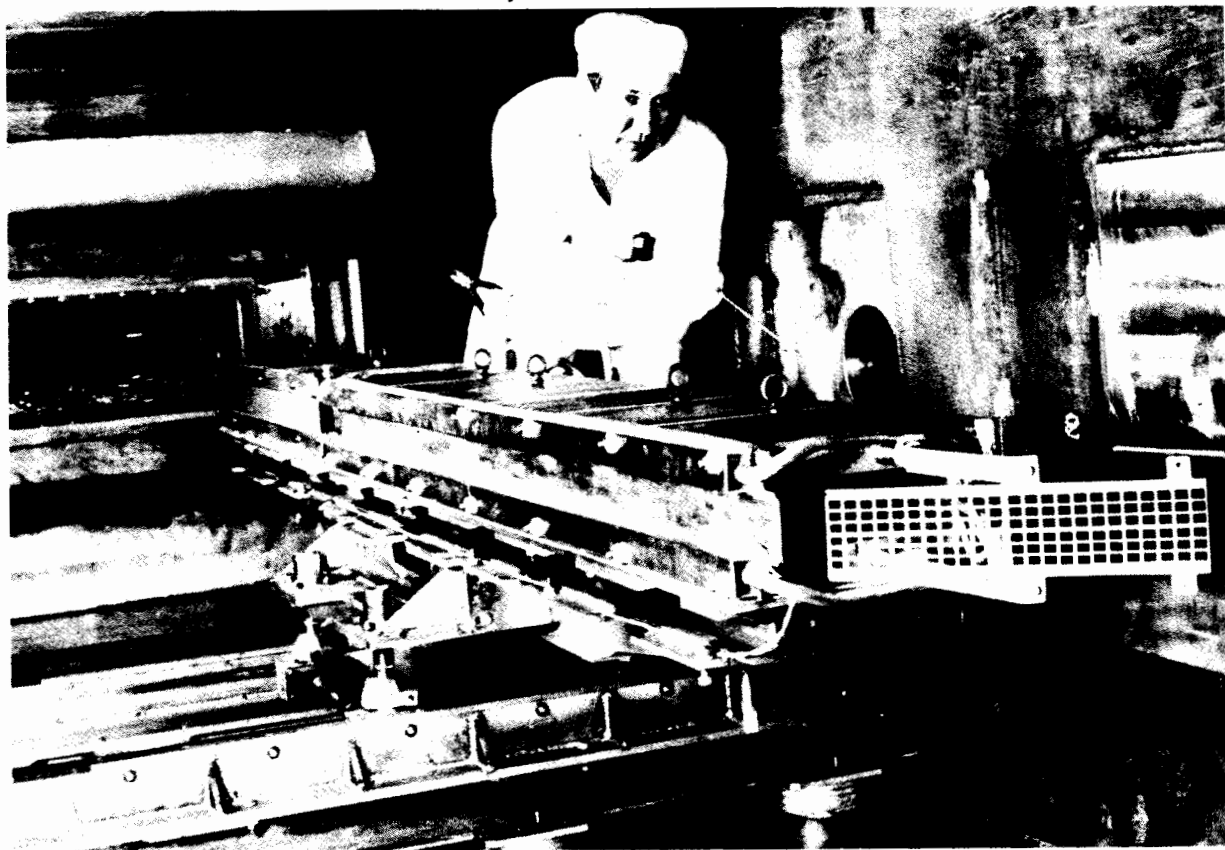


Рис. 6. Общий вид формагнита и форлинзы внутри вакуумной камеры синхрофазотрона.

ные резьбовые разъемы. Используются два типа соединений - через токонесущую гайку с левой и правой резьбой, и конусного типа с накидной гайкой. Гибкие наружные токоподводы (рис. 2) представляют собой многопроволочные проводники сечением $\approx 100 \text{ мм}^2$, помещенные в дюритовые шланги, по которым пропускается охлаждающая вода.

Механизм перемещения

Механизм перемещения ФМ и ФЛ состоит из пневмопривода, подвижной тележки внутри камеры и соединительного звена-штока (рис.2). В качестве движителя применен реконструированный пневмопривод плунжерных мишеней. Пневмоцилиндр двустороннего действия управляется от программного устройства синхронно с циклом с помощью электромагнитного клапана. Дросселирующие клапаны осуществляют торможение подвижных частей форсистемы при прямом и обратном ходах механизма. Возможность продольной регулировки начального положения механизма и величины его хода позволяет изменять рабочее положение форсистемы от + 280 мм до + 500 мм от центральной орбиты ускорителя.

Поворотное устройство изменяет угол магнита и линзы относительно оси камеры на $\pm 5^\circ$. Время прямого хода - 0,5 - 1 сек. Сигнализация от концевых выключателей крайних положений механизма форсистемы выведена на пульт управления ускорителем. На рис. 6 показан общий вид формагнита и форлинзы в камере синхрофазотрона.

Характеристики магнитного поля /4/

Зависимость вертикальной составляющей магнитного поля ФМ от поперечной координаты в средней плоскости зазора, измеренная для нескольких индукций, показана на рис. 7. На рис. 8 даны кривые рассеянного поля перед септумом. Приведенные зависимости получены при изме-

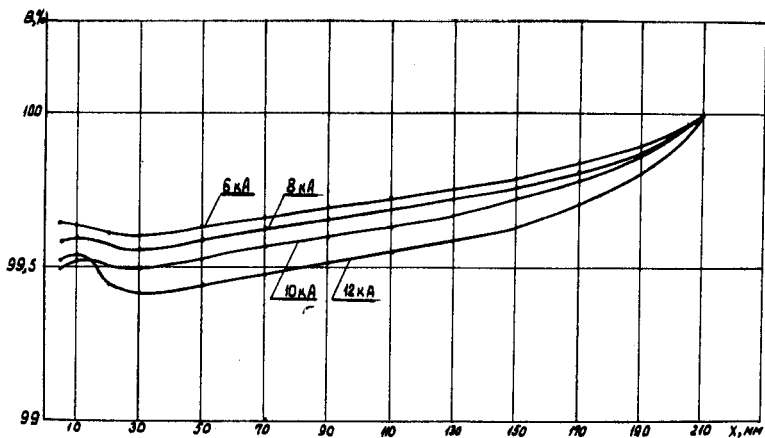


Рис. 7. Распределение магнитного поля в зазоре формагнита при разных токах (x -расстояние от септума).

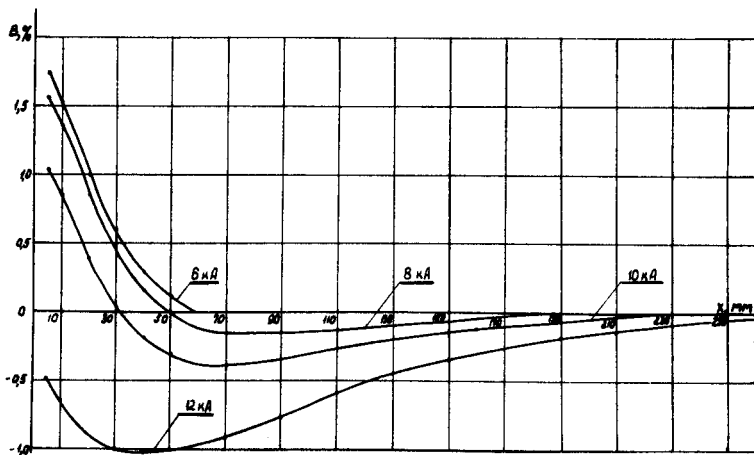


Рис. 8. Распределение рассеянного магнитного поля с внешней стороны септума формагнита при разных токах.

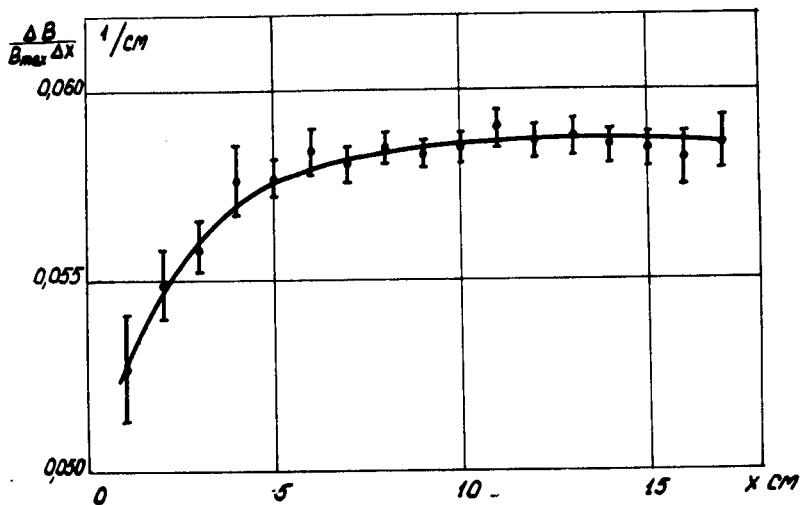


Рис. 9. Распределение магнитного поля в зазоре форлинзы при токе 1000а (x -расстояние от септума).

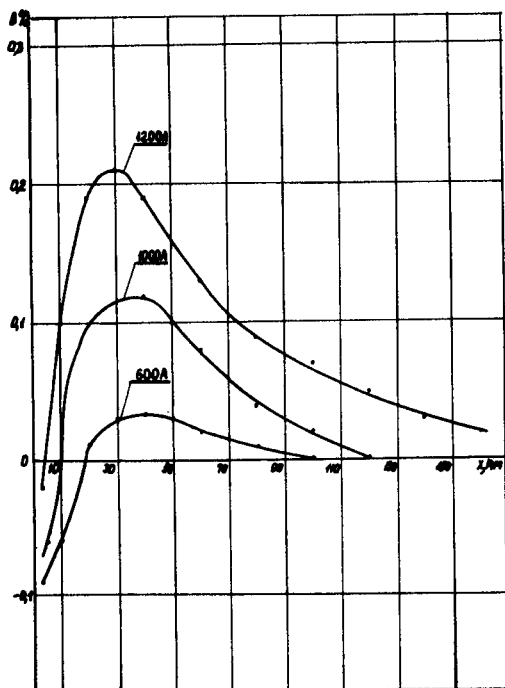


Рис. 10. Распределение рассеянного магнитного поля с внешней стороны септума форлинзы при разных токах.

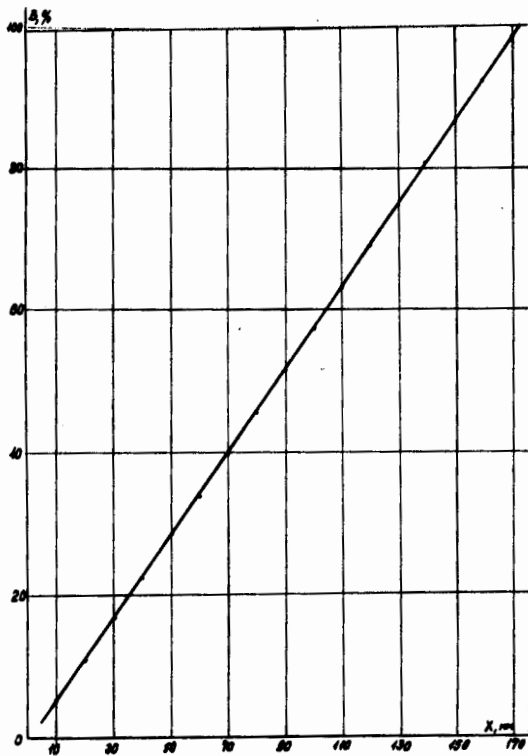


Рис. 11. Распределение относительного градиента в зазоре форлинзы для токов от 200 до 1200 а. B_{max} -индукция в зазоре на $x = 17$ см при заданном токе.

рении индукции "длинными" интеграторными катушками, продольный размер которых превышал длину сердечника магнита, что позволило измерять эффективное значение магнитного поля. Зависимости, снятые для поля и градиента ФЛ, приведены на рис. 9,10,11.

Авторы благодарят В.Ф. Кокшарова, В.Н. Булдаковского, Ю.Ф. Кусагина, М.Д. Ершова, В.Н. Ворошилова, В.Ф. Исаева, В.В. Трусова, принявших участие в изготовлении и монтаже форсистемы на ускорителе.

Таблица данных формагнита

1. Конфигурация железа	- С - образная
2. Сердечник	а) высота - 145 мм б) ширина - 280 мм в) длина - 1640 мм
3. Зазор:	а) высота - 65 мм б) ширина - 225 мм
4. Септум:	а) толщина - 2 мм б) высота - 64 мм в) длина - 1770 мм
5. Длительность импульса тока	
6. Ток в импульсе:	а) при энергии протонов 10 Гэв-9,9 ка б) максимально допустимый - 12 ка
7. Сквасность	- 1:20
8. Максимальный эффективный ток	- 2,7 ка
9. Максимальная мощность	- 2,5 квт
10. Допустимая температура	- 80°C
11. Вес	- 400 кг.

Таблица данных Форлинзы

1. Конфигурация железа	- С - образная
2. Сердечник	а) высота - 145 мм б) ширина - 280 мм в) длина - 1016 мм
3. Толщина септума	- 0,35 мм
4. Зазор	а) высота - 50 мм б) ширина - 188 мм
5. Длительность импульса тока	- 0,5 сек
6. Ток в импульсе:	а) при энергии протонов 10 Гэв - 1080а б) максимально допустимый - 1200а
7. Скважность	- 1:20
8. Максимально эффективный ток	- 270а
9. Максимальная мощность	- 0,6 квт
10. Допустимая температура	- 80°С
11. Вес	- 300 кг.

Литература

1. Н.Н. Umstätter. CERN 65-36, Geneva 1959.
2. Б.В. Василишин, И.Б. Иссинский, Е.М. Кулакова, В.А. Михайлов. Депонированное сообщение ОИЯИ, Б1-9-6436, Дубна, 1972.
3. W.K. Panofsky, L. Hand. Rev.Sc.Instr., 30, No.10, 927.

Рукопись поступила в издательский отдел
20 июня 1972 года.