

СЗ45Г
Г-943

421 / 2-77

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



2/11-77

P9 - 10117

Г.Г.Гульбемян, А.К.Евдокимов, С.И.Козлов,
Р.Ц.Оганесян

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ
ЦЕНТРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ ЦИКЛОТРОНА

1976

P9 - 10117

Г.Г.Гульбемян, А.К.Евдокимов, С.И.Козлов,
Р.Ц.Оганесян

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ
ЦЕНТРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ ЦИКЛОТРОНА

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Гульбекия Г.Г., и др.

P9 - 10117

Моделирование магнитного поля центральной области
циклотрона

Проведено исследование влияния аксиальных отверстий в полюсах электромагнита на распределение магнитного поля в центральной области.

Рассмотрена также возможность использования аксиальных отверстий для эффективной вакуумной откачки рабочего газа, поступающего из ионного источника.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований
Дубна 1976

Gulbekian G.G. et al.

P9 - 10117

Simulation of the Magnetic Field in the
Central Area of the Cyclotron

The effect of the axial holes in the electromagnetic poles on the distribution of the magnetic field in the central area has been studied. There has been considered also the possibility of using these holes for the effective vacuum evacuation of the working gas feeded by the ion source.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research
Dubna 1976

Важным вопросом при создании циклотронов - ускорителей тяжелых ионов является повышение степени утилизации ионов, получаемых из источника, что достигается тщательным формированием магнитных и электрических полей в центральной области циклотрона при расчете траекторий движения ионов на ЭВМ^{/1,2/}.

Для циклотрона У-400, сооружаемого в настоящее время в ОИЯИ^{/3/}, будут применяться разработанные в лаборатории внутренние источники ионов дугового типа^{/4/}. Такие источники, хотя и являются в настоящее время наиболее мощными, имеют пределы по интенсивности и зарядности ионов. Кроме того, размещение источника в рабочем зазоре ограничивает возможности автономной регулировки магнитного поля, использования банчировки ионного пучка, оптимизации конструкции источника^{/5-7/} и т.д.

Возможность использования на циклотроне У-400 источников других типов^{/8,9/}, с более высокой степенью зарядности ионов, связана с необходимостью размещения источника вне зазора циклотрона. В этом случае имеется возможность инъекции ионов от внешнего источника через аксиальный канал, выполненный в верхней балке и полюсе электромагнита циклотрона^{/10/}. С учетом необходимости размещения в аксиальном канале фокусирующих элементов (квадруполей, соленоидов или линз Венцеля) диаметр этого канала выбирается равным ~150-300 мм. Вместе с тем ясно, что аксиальный канал такого диаметра неизбежно вызовет возмущение магнитного поля в центре циклотрона. Поэтому для

выбора основных размеров канала требуется проведение магнитных измерений на модели. Моделирование распределения магнитного поля осуществлялось на стенде магнитных измерений (магнит с диаметром полюсов $d = 650$ мм и воздушным зазором $\delta = 110$ мм).

Измерения проводились датчиком Холла с электронной температурной стабилизацией. Регистрация э.д.с. Холла производилась цифровым вольтметром типа "Solartron". Датчик Холла был откалиброван по датчику ядерного магнитного резонанса, калибровочная кривая представлялась в виде полинома. Точность установки датчика Холла по радиусу равнялась $\pm 0,5$ мм. Измерения проводились на уровнях полей 15, 21 и 23 кЭ.

На рис. 1 представлены радиальные распределения магнитного поля в зависимости от диаметра отверстий в полюсах электромагнита. Величина неоднородностей в этом случае определяется геометрией и слабо зависит от уровня внешнего поля (рис. 2а). Зависимость максимального провала магнитного поля от отношения D/δ представлена на рис. 2б. Были подобраны коэффициенты зависимостей максимальной неоднородности магнитного поля от величины зазора и диаметра отверстий в полюсах. При этом ход зависимостей рассчитывался методом магнитных зарядов [11].

$$\left(\frac{\Delta H}{H_0}\right)_{\max} \% \approx 20\left(\frac{D}{\delta}\right)^2 \% \quad \text{при} \quad 0,3 < \frac{D}{\delta} < 1,$$

$$\left(\frac{\Delta H}{H_0}\right)_{\max} \% \approx 60\left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + (D/\delta)^2}}\right] \% \quad \text{при} \quad 1 < \frac{D}{\delta} < 1,5.$$

Если глубина отверстий в полюсах $h < D$, то

$$\left(\frac{\Delta H}{H_0}\right)_{\max} \% \approx 60\left[\frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D}{\delta + 2h}\right)^2}} - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D}{\delta}\right)^2}}\right] \%.$$

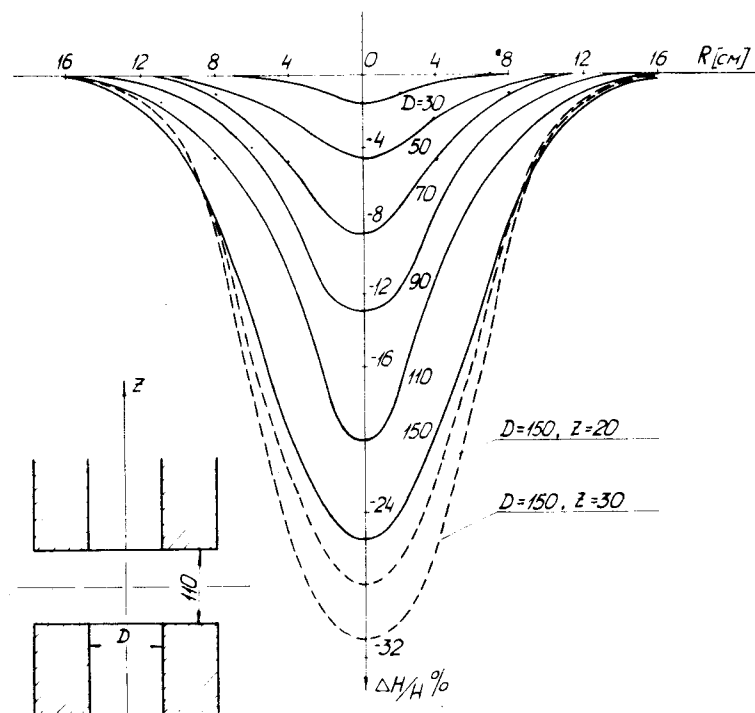


Рис. 1. Радиальное распределение магнитного поля в зависимости от диаметра аксиальных отверстий в полюсах электромагнита.

Расхождение расчётных и экспериментальных данных составляет около 10%. В системе внешней аксиальной инъекции собственно канал для пучка может быть выбран диаметром от 30 до 60 мм при диаметре канала, требуемого для размещения фокусирующих элементов, от 150 до 300 мм. Поэтому исследовалось влияние на распределение магнитного поля заполнения больших отверстий в полюсах железом со стороны зазора (рис.3).

Видно, что неоднородность магнитного поля становится менее 1%, если отверстие диаметром 150 мм заполнено железом на высоту 30-40 мм.

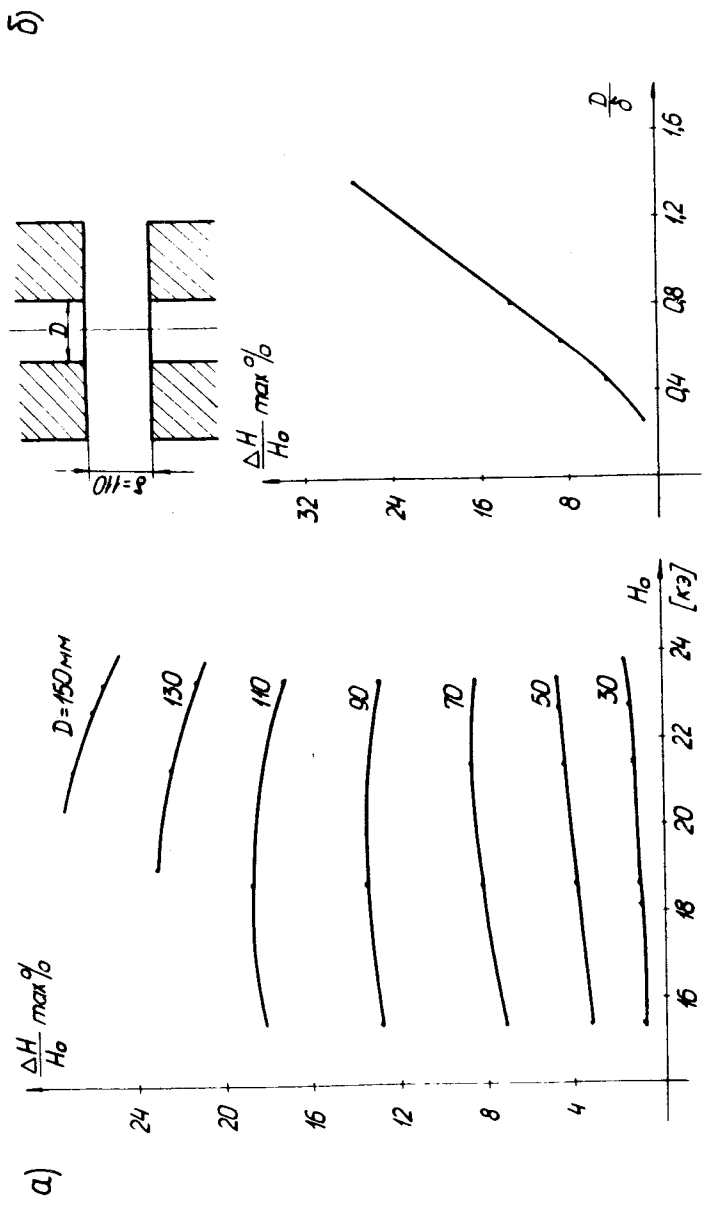


Рис. 2. Зависимость величины максимальной неоднородности магнитного поля: а) от уровня внешнего поля, б) от отношения D/δ .

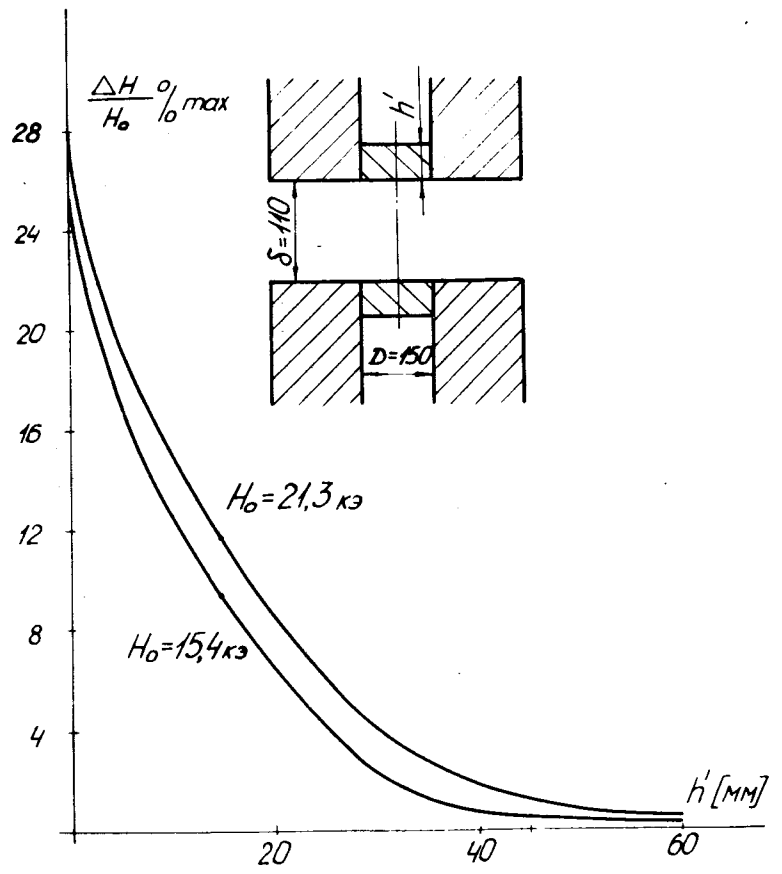


Рис. 3. Влияние на максимальную неоднородность магнитного поля глубины заполнения железом отверстий в полюсах.

Для расчёта тракта транспортировки пучка ионов через аксиальный канал и систему поворота пучка в медианную плоскость проводились измерения аксиальных распределений магнитного поля на оси отверстий. Учитывалось, что параметры магнитного поля также существенно влияют на работу внутреннего источника дугового

типа /5/. На рис. 4 представлены аксиальные распределения магнитного поля в области зазора для диаметров отверстий в полюсах 50 и 150 мм. На рис. 5 приведено распределение магнитного поля в аксиальном канале, измеренное на электромагните циклотрона У-200П Варшавского университета. Величина поля в области ярма составляет около 2 кЭ.

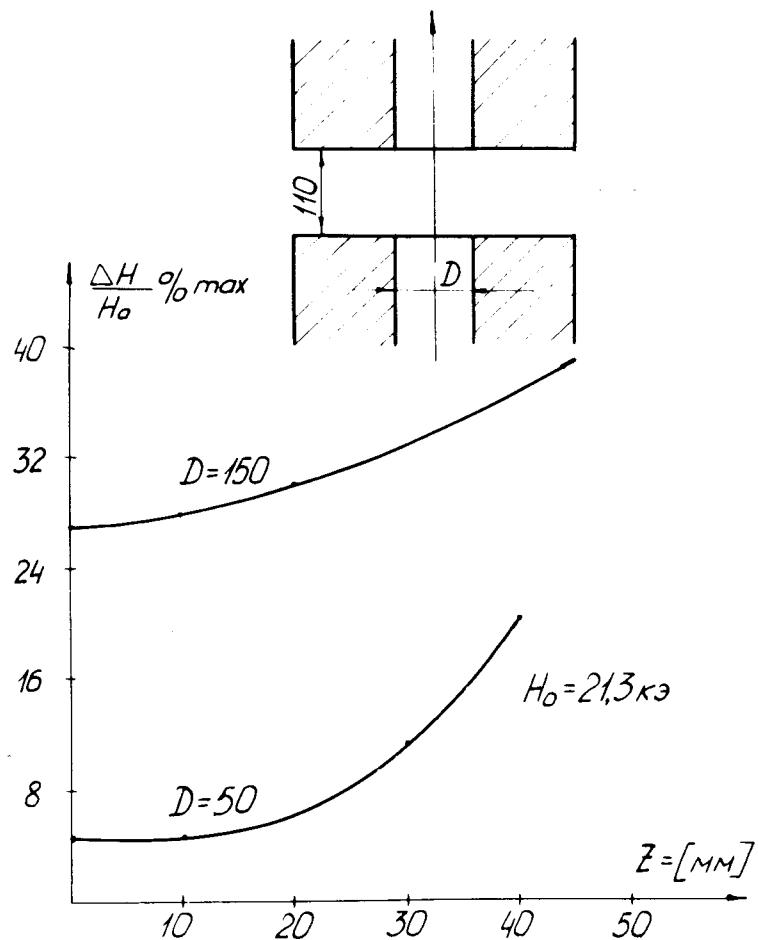


Рис. 4. Максимальная неоднородность магнитного поля в зависимости от расстояния от медианной плоскости.

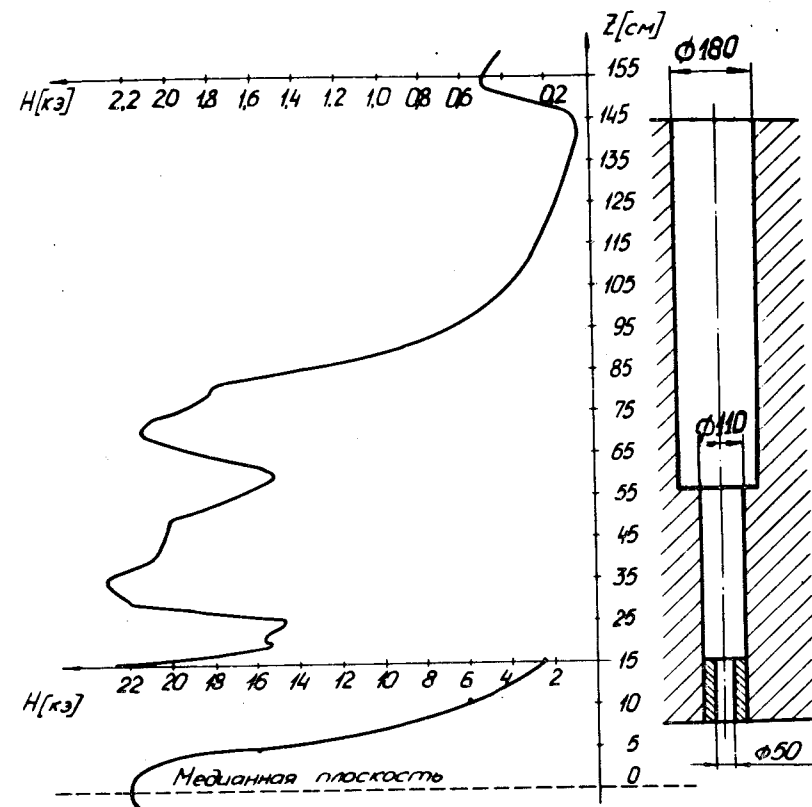


Рис. 5. Распределение магнитного поля на оси аксиального канала циклотрона У-200П Варшавского университета.

При ускорении тяжелых ионов в изохронном циклотроне основные потери обусловлены их перезарядкой на остаточном газе в вакуумной камере. В случае использования внутреннего источника ионов основной газовой нагрузкой является натекание рабочего газа из ионного источника, равное 0,5 - 2 см³/мин для газов от Хе до Ne соответственно.

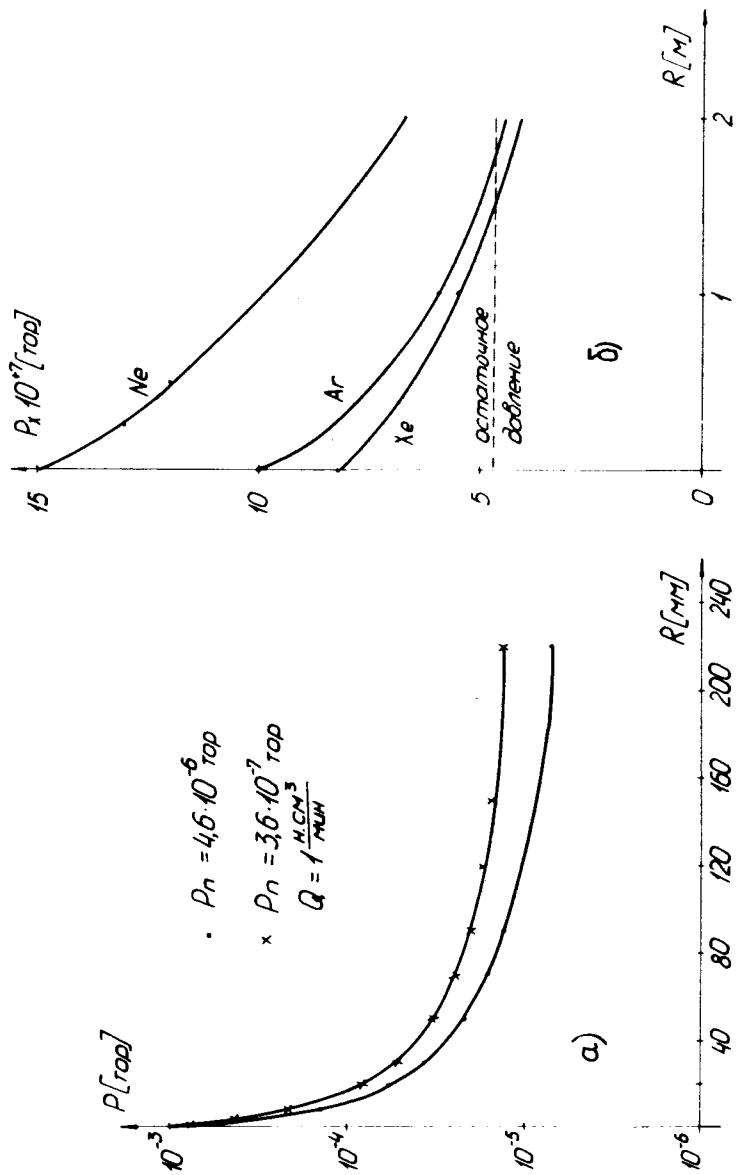


Рис. 6. а) Радиальное распределение давления газа в камере циклотрона У-300.
 б) Результаты расчёта радиальных распределений давлений Ne, Ar и Xe в камере циклотрона У-400.

Экспериментально измеренное радиальное распределение давления в центральной области циклотрона У-300 приведено на рис.6а. На рис.6б представлены результаты расчёта радиальных распределений давления для Ne, Ar, Xe и остаточного газа в зазоре циклотрона У-400 при периферийной скорости откачки 28000 л/с (по азоту).

С учётом высокого давления газа в центре циклотрона около источника представляется возможной откачка части газа через аксиальное отверстие, причём величина

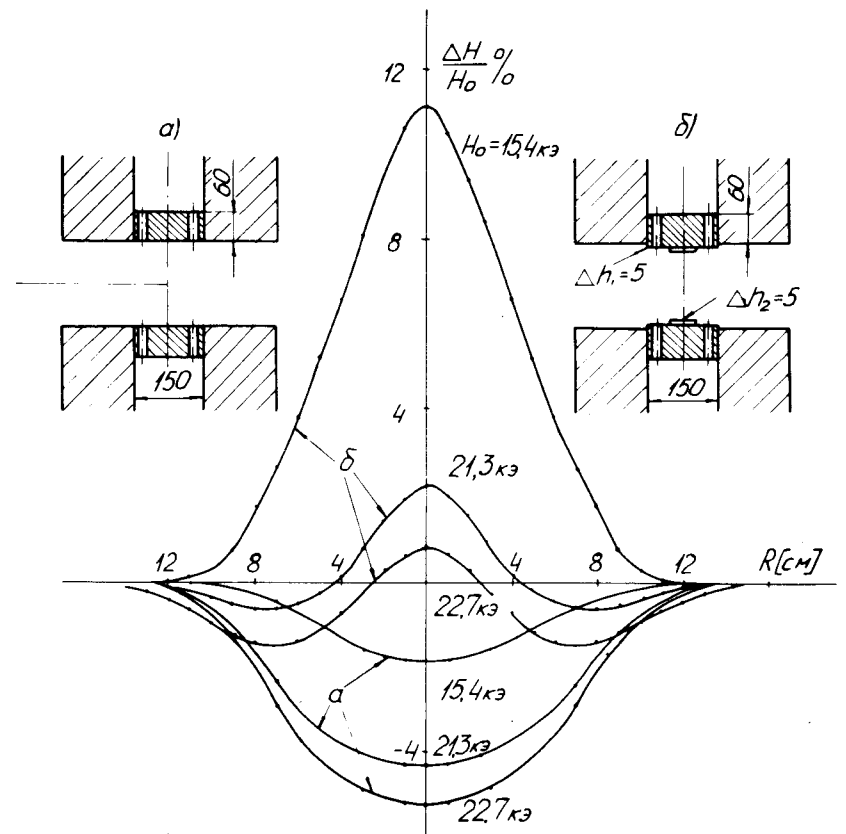


Рис.7. Радиальное распределение магнитного поля при использовании заглушек с шестнадцатью отверстиями $\phi 20$ мм. а) без кольцевых шимм, б) с кольцевыми шиммами.

проводимости аксиального канала откачки должна составлять - 200-300 л/с.

С этой целью в заглушках, имеющих ϕ 150 мм и высоту 60 мм, были просверлены 16 отверстий ϕ 20 мм и общей пропускной способностью 300 л/с (рис. 7а), что эквивалентно по проводимости одному отверстию в заглушке ϕ 5 см. Структура с многими малыми отверстиями выбрана из-за возможности удовлетворительного шиммирования магнитного поля с помощью тонких кольцевых шимм (рис. 7б), что, как показали эксперименты, трудно сделать для одного отверстия ϕ 5 см (см. рис. 1).

ЛИТЕРАТУРА

1. И.А.Шелаев и др. Препринт ОИЯИ, Р9-5032, Дубна, 1970.
2. И.А.Шелаев и др. Препринт ОИЯИ, Р9-5033, Дубна, 1970.
3. I.A.Shelaev et al. Nucl. Instr. and Meth., 93, 557 (1971).
4. Е.Д.Воробьев, А.С.Пасюк. Препринт ОИЯИ, Р7-5177, Дубна, 1970.
5. L.Vex, D.J.Clark. LBL-3433. Presented at the 1975 Particle Accelerator Conference, March 12-14, 1975.
6. M.L.Mallory, E.D.Hydson and R.S.Lord. IEEE Trans. on Nucl. Science. Vol. NS-22, N3, p. 147 (1975).
7. J.L.Belmont. Rapport Interne, ISN 7506.
8. Е.Д.Донец, А.И.Пикин. Сообщение ОИЯИ, Р7-7999, Дубна, 1974.
9. R.Geller. IEEE Trans. on Nucl. Science. Vol. NS-23, N 2, April 1976.
10. D.J.Clark. Proc. Sixth International Cyclotron Conference Cyclotron Injection Systems.
11. В.Р.Карасик. Физика и техника сильных магнитных полей. Наука, Москва, 1964.

Рукопись поступила в издательский отдел
20 сентября 1976 года.