

P9-2002-18

Н. А. Морозов, Э. Бакевич*, К. Даниел*, Х. Дорух*,
Р. Тарашкевич*

**ПАССИВНЫЙ МАГНИТНЫЙ КАНАЛ (МС-3)
ДЛЯ СИСТЕМЫ ВЫВОДА ПУЧКА
ИЗОХРОННОГО ЦИКЛОТРОНА АИЦ-144**

*Институт ядерной физики, Краков, Польша

Для изохронного циклотрона АИЦ-144 (Краков, Польша) разработана и введена в эксплуатацию новая система вывода [1, 2] пучков ускоренных частиц. В качестве элементов [3] для построения системы вывода использованы три электростатических дефлектора и три магнитных канала. В качестве последнего элемента канала вывода использован пассивный магнитный канал (МС-3), предназначенный для создания фокусирующего пучок по радиусу градиента магнитного поля. В работе описана методика расчета, использованная для выбора параметров канала, и приводятся результаты измерений его магнитного поля.

1. Расчеты по выбору параметров канала

Схема расположения канала МС-3 относительно осей ускорительной камеры циклотрона приведена на рис.1. Ось рабочей апертуры канала имеет угол 24° по отношению к оси ускорительной камеры. Требования на магнитное поле канала были установлены путем расчетов [1] динамики пучка при его транспортировке через элементы системы вывода. Канал должен создавать фокусирующее магнитное поле в радиальном направлении с величиной градиента 7-13 Тл/м. В качестве базовой рабочей идеи разработки канала была реализована концепция канала, при которой создание требуемого магнитного поля осуществляется при помощи ферромагнитных пластин, намагничиваемых внешним краевым магнитным полем циклотрона. На рис.2 показано распределение магнитного поля циклотрона в области расположения канала МС-3 при различных токах возбуждения основной обмотки магнита. Видно, что намагничивающее поле вдоль канала падает примерно в 2 раза (вход канала относительно выхода) и его минимальная величина составляет 0,1 Тл.

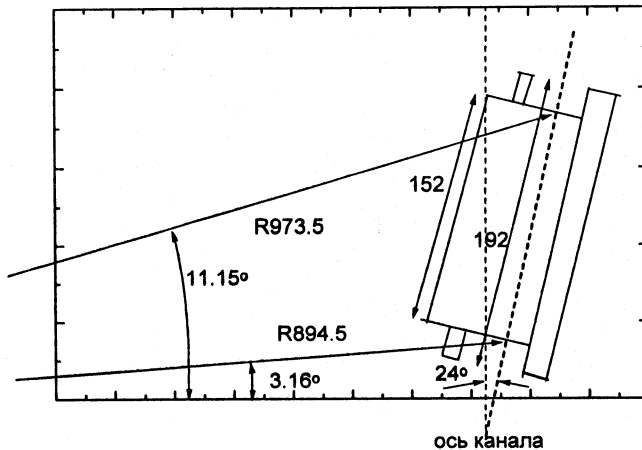


Рис.1. Схема расположения канала МС-3 относительно осей камеры циклотрона

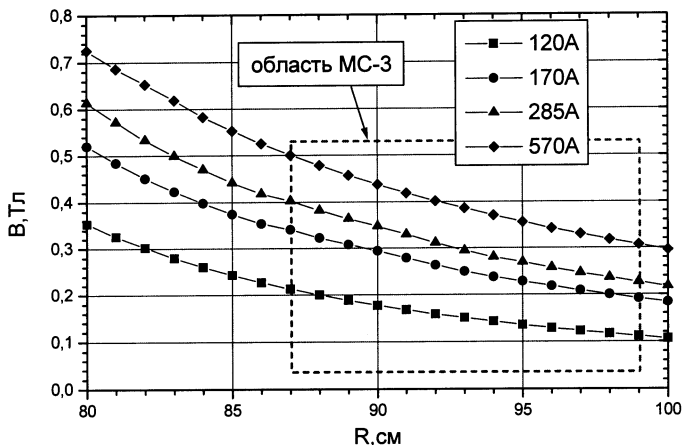


Рис.2. Распределение магнитного поля циклотрона в области размещения канала МС-3 для разных значений тока основной обмотки магнита циклотрона

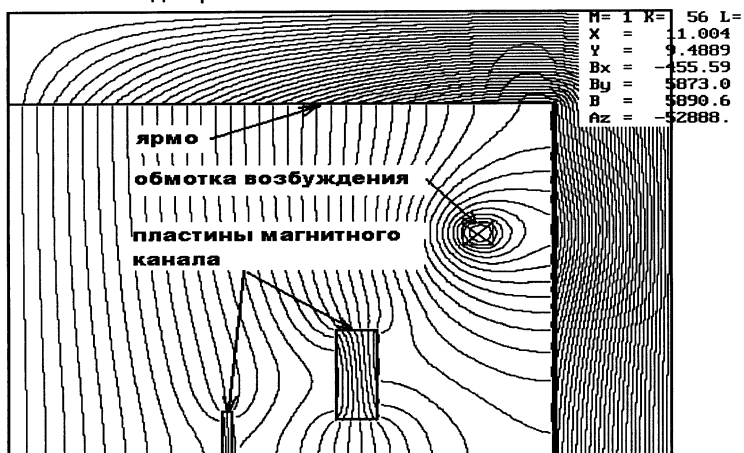


Рис.3. Расчетная модель для получения поля магнитного канала МС-3

Для получения требуемого магнитного поля был выбран магнитный канал, состоящий из трех ферромагнитных пластин: одна пластина располагается в средней плоскости циклотрона, пара пластин – симметрично относительно этой плоскости. Для выбора размеров и расположения пластин были использованы расчеты при помощи программы SUPERFISH [4]. На рис.3 приведена использованная расчетная модель. В этой модели магнитное поле, намагничивающее пластины канала, создается при помощи обмотки возбуждения и дополнительного ярма. Уровень намагничивающего поля

выбирался равным полю циклотрона для среднего поперечного сечения магнитного канала. При помощи этой расчетной модели была подобрана геометрия ферромагнитных пластин и их взаимное расположение. На рис.4 приведены результаты расчета изменения магнитного поля в апертуре канала МС-3 для двух значений тока основной обмотки магнита. На этом же рисунке даны результаты магнитных измерений поля канала и геометрия пластин канала. На рис.5 приведены расчетные и экспериментальные зависимости от поперечной координаты для изменения градиента магнитного поля.

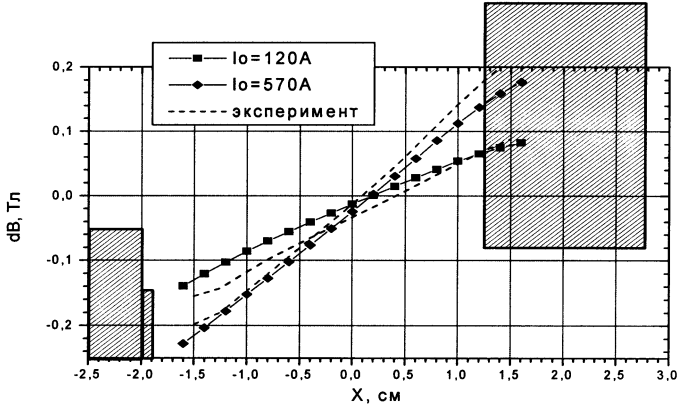


Рис.4. Изменение магнитного поля в апертуре канала МС-3

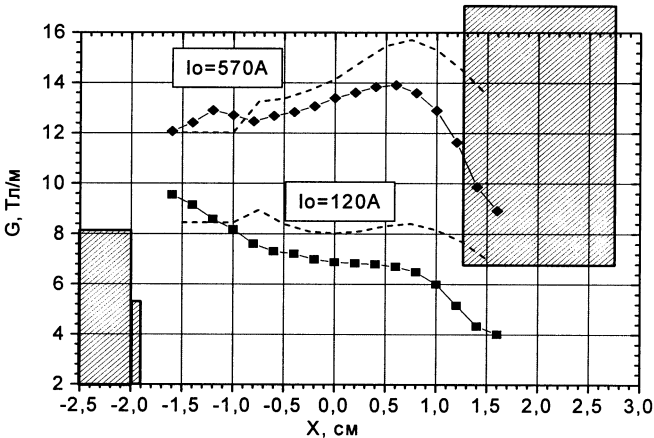


Рис.5. Изменение градиента магнитного поля в апертуре канала МС-3 (- - - эксперимент)

2. Получение таблиц магнитного поля в апертуре канала

При помощи расчетной модели (рис.2) было получено распределение намагниченности (вертикальной компоненты) вдоль ферромагнитных пластин канала МС-3, расположенных в изменяющемся намагничивающем поле циклотрона. На рис.6 и 7 приведено распределение намагниченности вдоль первой пластины канала на различных расстояниях от средней плоскости циклотрона для $I_0=120$ и 570 А соответственно. На этом же рисунке изображено поперечное сечение (1/2 часть) этой пластины.

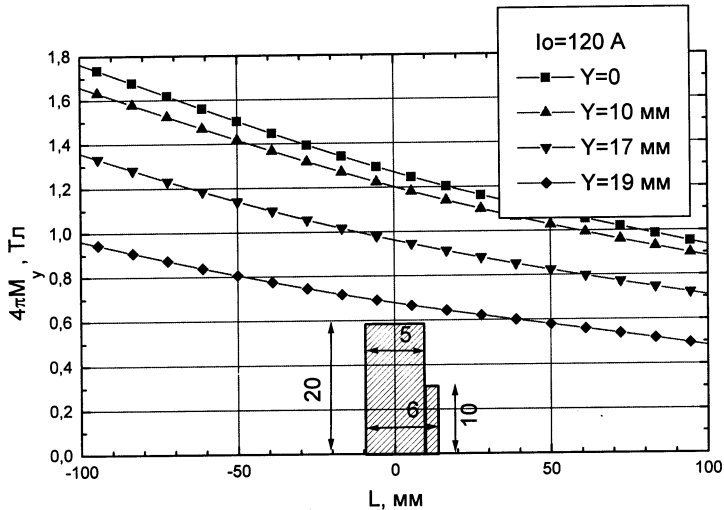


Рис.6. Вертикальная составляющая намагниченности первой пластины канала МС-3 в зависимости от ее длины ($I_0=120$ А)

На рис.8 и 9 приведено распределение вертикальной компоненты намагниченности вдоль второй пластины канала на различных расстояниях от средней плоскости циклотрона для $I_0=120$ и 570 А соответственно, а так же изображено поперечное сечение этой пластины.

Для получения 3-мерной карты магнитного поля канала его пластины были разбиты на отдельные элементы. Половина первой пластины была разбита на три слоя по двенадцать элементов в слое. Вторая пластина – также на три слоя по двенадцать элементов. Схема разбиения пластин приведена на рис.10.

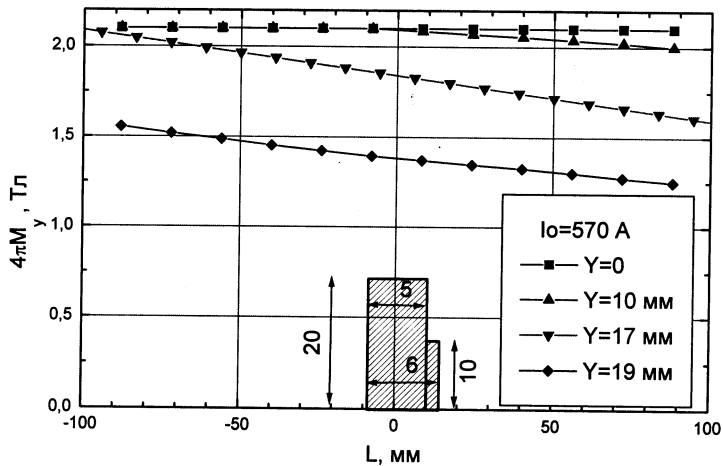


Рис.7. Вертикальная составляющая намагниченности первой пластины канала MS-3 в зависимости от ее длины ($I_0=570$ A)

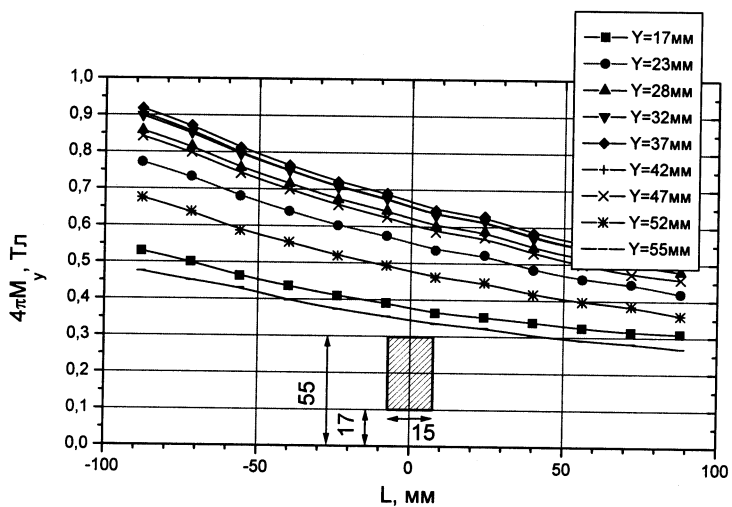


Рис.8. Вертикальная составляющая намагниченности второй пластины канала MS-3 в зависимости от ее длины ($I_0=120$ A)

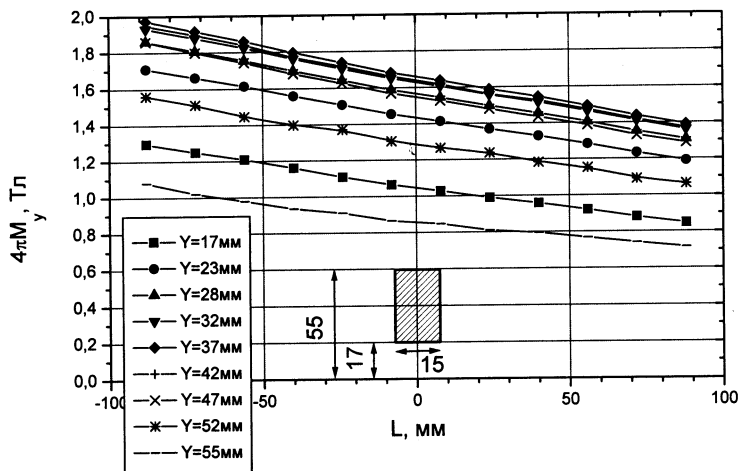


Рис.9. Вертикальная составляющая намагниченности второй пластины канала МС-3 в зависимости от ее длины ($I_0=570$ А)

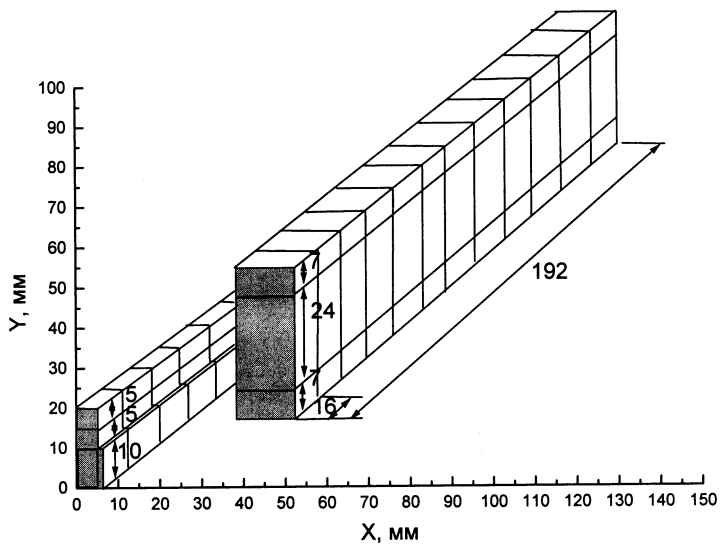


Рис.10. Схема разбиения пластин канала на элементы

Каждому элементу пластины ставилось в соответствие постоянное усредненное значение намагниченности на основе распределений

намагниченности, приведенных выше. Расчет поля от каждого элемента проводился по аналитическим выражениям [5] для магнитного поля от равномерно намагниченного ферромагнитного бруска. Результирующее поле получалось путем суммирования полей для всех элементов. Результаты расчета снижения магнитного поля в апертуре канала в сравнении с экспериментальными данными приведены на рис.11 и 12 для двух значений тока основной обмотки магнита циклотрона. На рис.13 приведены расчетный распределения градиента магнитного поля вдоль оси канала в сравнении с экспериментальными данными.

Полученные таблицы магнитного поля были использованы для расчета динамики пучков при их выводе из камеры циклотрона. Выбранная геометрия ферромагнитных пластин канала МС-3 была реализована в виде его конструкции, общий вид которой показан на рис.14. Проведенные измерения магнитного поля данного канала продемонстрировали необходимую точность расчетной методики получения таблиц магнитного поля, изменения конфигурации ферромагнитных пластин не потребовалось. Тестирование магнитного канала при выводе протонов с энергией 35 и 48 МэВ продемонстрировало совпадение размеров пучка на выводном окне ускорительной камеры циклотрона с его расчетными параметрами.

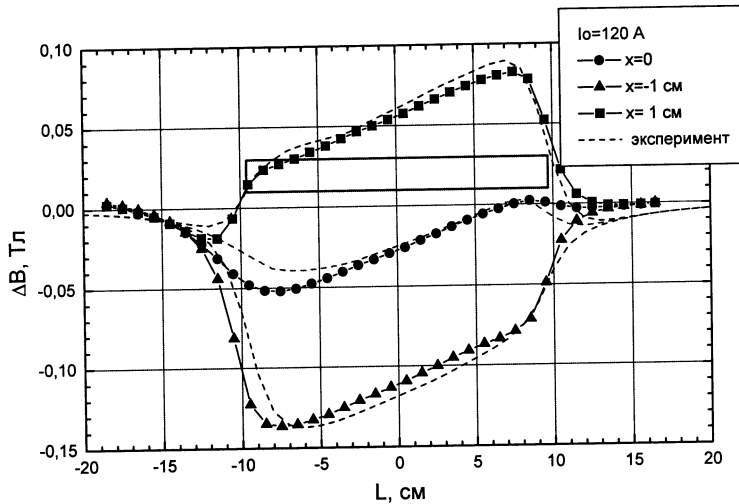


Рис.11. Снижение магнитного поля в апертуре магнитного канала, $I_0=120 \text{ A}$

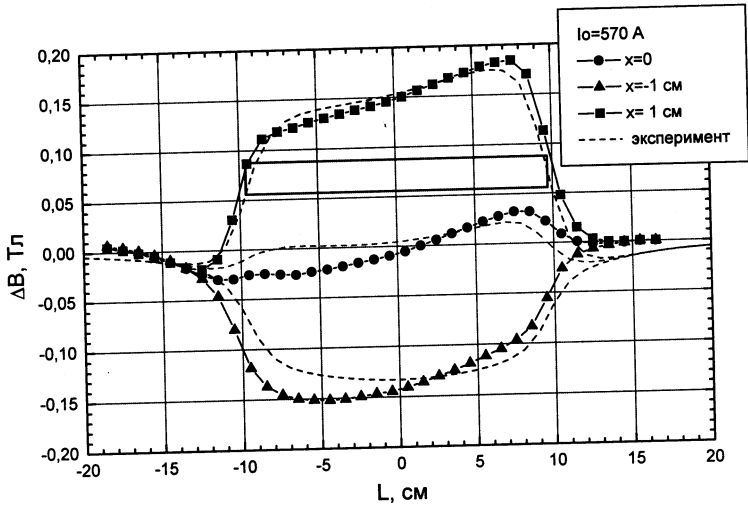


Рис.12. Снижение магнитного поля в апертуре магнитного канала, $I_0=570$ А

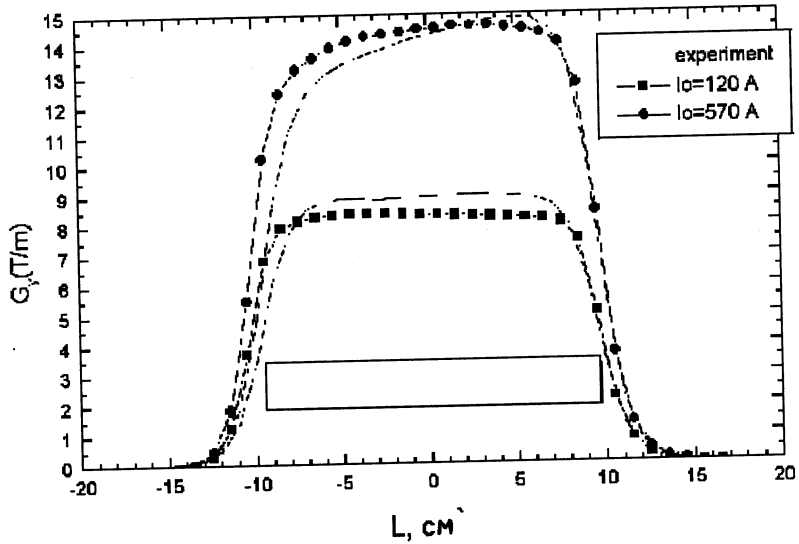


Рис.13. Градиент магнитного поля вдоль оси канала МС-3

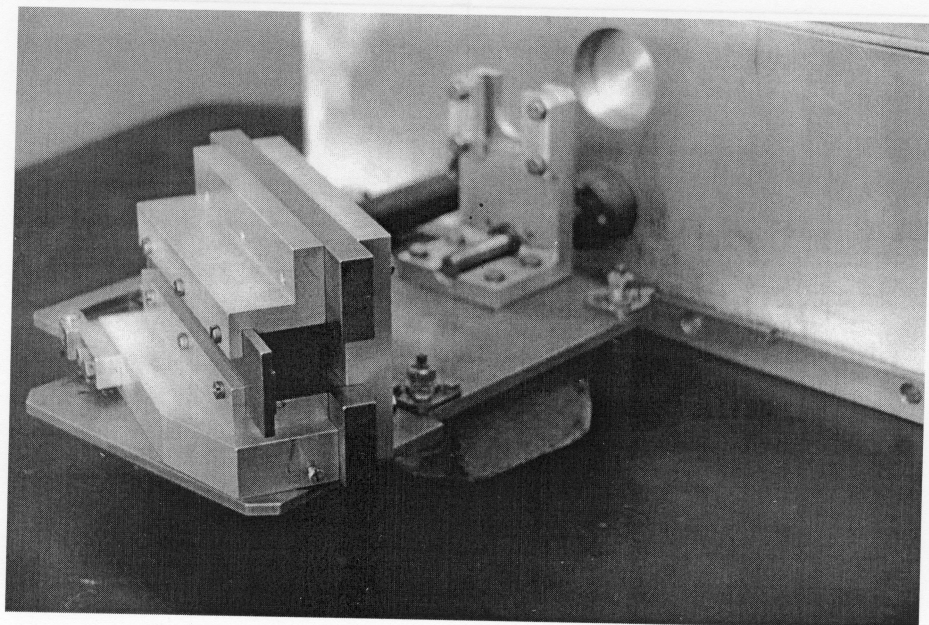


Рис. 14. Общий вид конструкции магнитного канала МС-3

Литература

- [1] Borisov O.N. et al. - New Beam Extraction System for the AIC-144 Cyclotron. JINR, E9-98-130, Dubna, 1998. Proc. of the 15th Int. Conf. on Cycl. and their Appl. Caen, France, 14-19 June 1998, Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, p.528.
- [2] Bakewicz E. et al. - A new extraction system for the upgraded AIC-144 cyclotron. NUKLEONIKA 2001, 46(2), p.51.
- [3] Morozov N.A. et al. - Electrostatic and magnetic elements of the new extraction system for the isochronous cyclotron AIC-144. XVII Международный семинар по ускорителям заряженных частиц, 17-23 сентября 2001г., Алушта, Крым, тезисы докладов, стр.125.
- [4] Billen J.H., Young L.M. POISSON SUPERFISH Documentation, LA-UR-96-1834, Los Alamos, 1996.
- [5] Данилов В.И., Иванович М. Препринт ОИЯИ, Р9-3876, Дубна, 1968.
- [6] Bakewicz E. et al. - Extraction of Protons with the Energy of 35 MeV from the Upgraded AIC-144 Cyclotron. Particles and Nuclei, Letters, 2000, N.6[103]-2000, p.44.

Получено 8 февраля 2002 г.

Морозов Н. А. и др.

P9-2002-18

Пассивный магнитный канал (МС-3)

для системы вывода пучка изохронного циклотрона АИЦ-144

В ИЯФ (Краков, Польша) произведена наладка новой системы вывода пучков для изохронного циклотрона АИЦ-144. Система вывода реализована на основе трех электростатических deflectоров и трех магнитных каналов. В работе описана методика расчета и выбора параметров последнего пассивного магнитного канала, работающего в относительно слабом краевом магнитном поле циклотрона.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем им. В. П. Дзепелова ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2002

Перевод авторов

Morozov N. A. et al.

P9-2002-18

The Passive Magnetic Channel (MC-3)

for the Beam Extraction System of Isochronous Cyclotron AIC-144

The new system of a beam extraction is installed and tuned for the isochronous cyclotron AIC-144 in INP (Krakow, Poland). The beam extraction system is designed on the base of three electrostatic deflectors and three magnetic channels. In the present work the methodics of calculation and a parameter choice is described for the last passive magnetic channel, operating in a weak edge magnetic field of the cyclotron.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2002

Редактор *М. И. Зарубина*
Макет *Н. А. Киселевой*

ЛР № 020579 от 23.06.97.

Подписано в печать 29.03.2002.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,9. Уч.-изд. л. 1,05. Тираж 280 экз. Заказ № 53196.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.