

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

9-85-113

МАГНИТООПТИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМЫ
ТРАНСПОРТИРОВКИ ПУЧКОВ У-400

1985

Л.Г.Бондаренко, Г.Г.Гульбекян, А.И.Иваненко, С.И.Козлов,
И.В.Колесов, В.Н.Мельников, Е.А.Минин, Ю.Ц.Оганесян,
Р.Ц.Оганесян, К.И.Семина, В.А.Чугреев
Объединенный институт ядерных исследований

Е.Апостолеску, К.Блаж, И.Бэндулеску, В.Дуце, М.Маковой,
Т.Пекурар, П.Пырлогэа, К.Рэдулеску, Г.Тудор, И.Янку
Центральный институт физики, Бухарест

В данной работе приведены характеристики магнитооптических элементов системы транспортировки внешних пучков изохронного циклотрона У-400, разработанные совместно Лабораторией ядерных реакций ОИЯИ и Центральным институтом физики СРР.

Разводка внешних пучков ионов У-400/1/ производится в медианной плоскости, и в сниженной на 2,7 м, а также по вертикальному каналу. Перевод пучка на уровень, параллельный медианной плоскости, выполняется с помощью установки снижения и коммутации/2/, состоящей из двух электромагнитов с углом отклонения 90° , установленных друг под другом, причем нижний электромагнит может устанавливаться по углу вокруг вертикальной оси в пяти фиксированных направлениях в горизонтальной плоскости. Вертикальный канал базируется на одном подобном магните.

Исследование фокусирующих свойств комплекса разводки с целью выбора параметров магнитных элементов производилось по программе TRANSPORT/3/ с характеристиками внешних пучков У-400:

- | | |
|---------------------------------------------------------------------|----------------|
| - Горизонтальный эмиттанс | - 40 п.мм·мрад |
| - Вертикальный эмиттанс | - 16 п.мм·мрад |
| - Максимальная жесткость пучка | - 3,66 Т·м |
| - Жесткость пучка после вывода методом перезарядки на тонкой мишени | - 1,25 Т·м |
| - Разброс по энергии | - 1% |

Оптимизация параметров элементов системы транспортировки пучков позволила создать качественное формирование и разводку пучков по ионопроводам 12 направлений. В системе транспортировки применен модульный принцип исполнения элементов.

ЭЛЕМЕНТЫ ИОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПУЧКОВ ЦИКЛОТРОНА У-400

1. Квадрупольная линза

В системе транспортировки внешних пучков циклотрона У-400 фокусирующим элементом выбран дублет из квадрупольных линз с круглым ярмом /рис.1/. Апертура квадрупольной линзы $2a = 0,11$ м образована цилиндрическими наконечниками с радиусом кривизны плоской поверхности, равным 1,15а. Длина полюсного наконечника 0,3 м. Расстояние между линзами в дублете - 0,28 м.

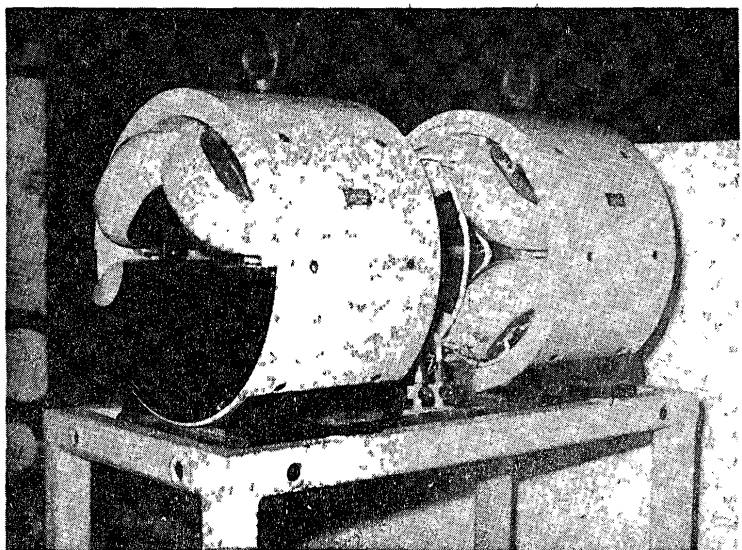


Рис.1. Дублет квадрупольных линз.

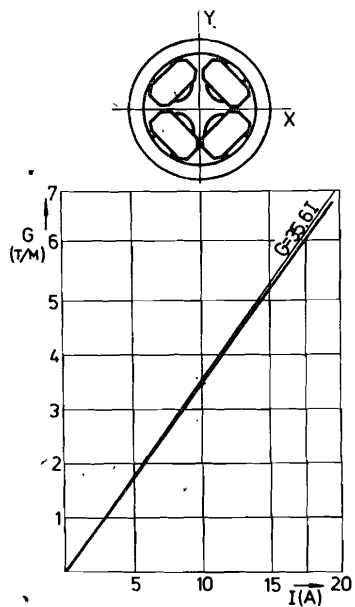


Рис.2. Зависимость градиента линзы как функция тока возбуждения.

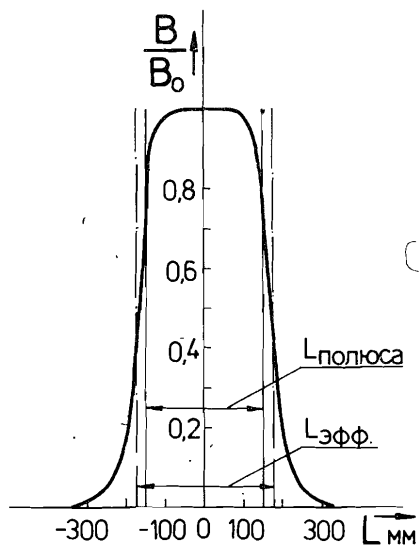


Рис.3. Распределение индукции магнитного поля по оси линзы.

Измерения распределения магнитных полей квадрупольных линз проводились датчиком Холла из антимонида индия^[4], установленным с помощью специального координатного устройства с точностью по радиусу 0,1 мм, азимуту - 1°, длине - 0,5 мм.

Номинальное значение градиента магнитного поля равно 6 Т/м /рис.2/. Нелинейность градиента в области менее 0,8а не превышает 0,5%, что приведет к расплыванию пучка на мишени не более, чем на 1 мм. Эффективная длина линзы составляет 0,35 м /рис.3/ и хорошо описывается выражением $L_{эфф} = L_{полюса} + 0,9а$.

2. Магнит отклонения

Вывод тяжелых ионов из камеры циклотрона У-400 методом перезарядки на тонкой мишени уменьшает магнитную жесткость внутреннего пучка (BR) в три-четыре раза, что позволяет создать разветвленную систему транспортировки пучков при использовании магнитов с относительно небольшой мощностью. В системе приме-

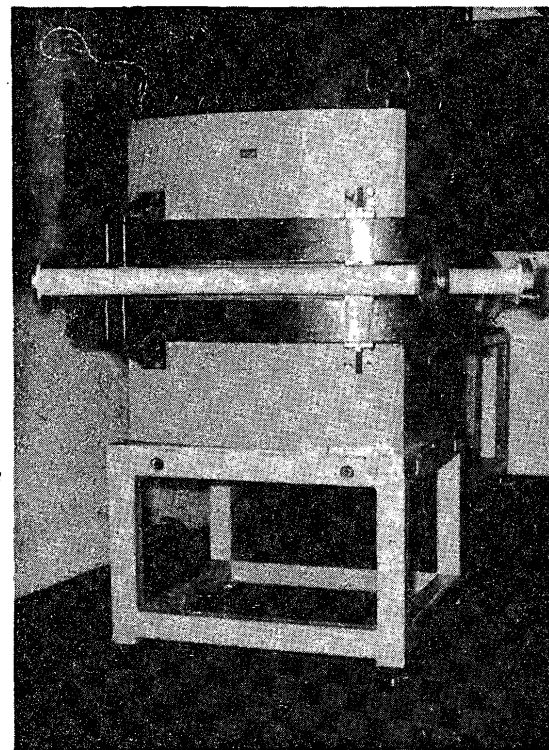


Рис.4. Электромагнит отклонения.

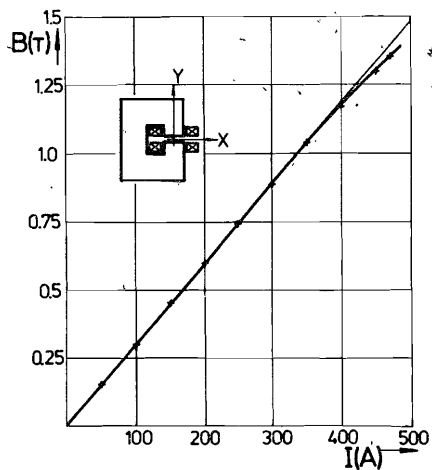


Рис.5. Кривая возбуждения магнитного поля электромагнита отклонения.

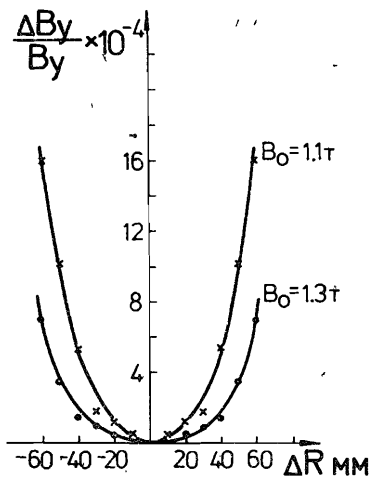


Рис.6. Нелинейность магнитного поля электромагнита отклонения в медианной плоскости.

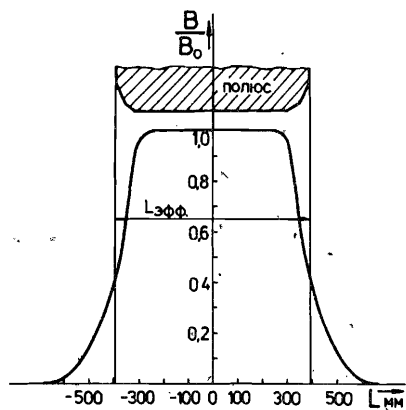


Рис.7. Распределение поля вдоль оптической оси электромагнита отклонения.

нены С-образные магниты с однородным полем, имеющие угол поворота 45° , радиус - 1 м /рис.4/. Ширина полюса составляет 0,25 м, вертикальный зазор 0,08 м. Выбранные расчетным путем углы входа и выхода торцевых срезов магнита, равные $11,7^\circ$, позволяют осуществлять двойную фокусировку в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Максимальное магнитное поле 1,3 Т в электромагните создается при токе возбуждения 470 А /рис.5/. Неоднородность магнитного поля для рабочей зоны шириной +50 мм от осевой траектории составляет величину $\leq 10^{-3}$ /рис.6/. Торцевые части полюсов электромагнита выполнены по профилю Роговского /5/, что позволяет обеспечить хорошее совпадение эффективных границ магнита с границами полюсов /рис.7/ при разных токах возбуждения. Конструкция электромагнита и его вакуумной камеры позволяет осуществлять транспортировку пучка через электромагнит без отклонения, а также производить оптическую юстировку по указанным выше двум направлениям. Благодаря юстировочной системе можно устанавливать магнит в заданном положении с точностью до 0,1 мм. Плоскость симметрии его горизонтальна, с точностью до 1 мрад.

3. Корректирующий электромагнит

Коррекция положения пучка в ионопроводе при транспортировке, точное нацеливание его на физическую мишень осуществляются корректирующим электромагнитом 0-образного исполнения /рис.8/.

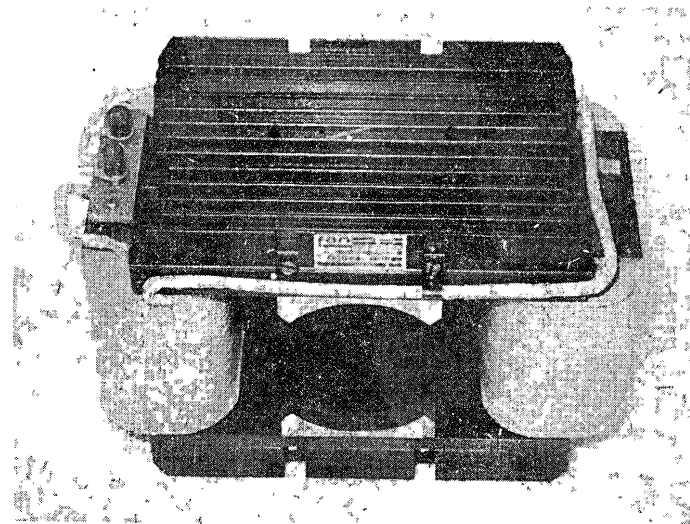


Рис.8. Корректирующий электромагнит.

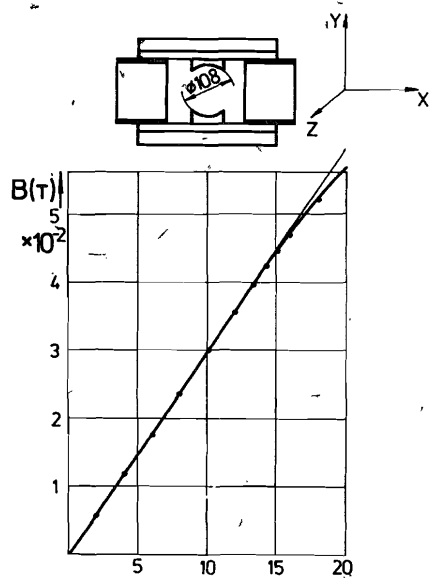


Рис.9. Кривая возбуждения магнитного поля корректирующего электромагнита.

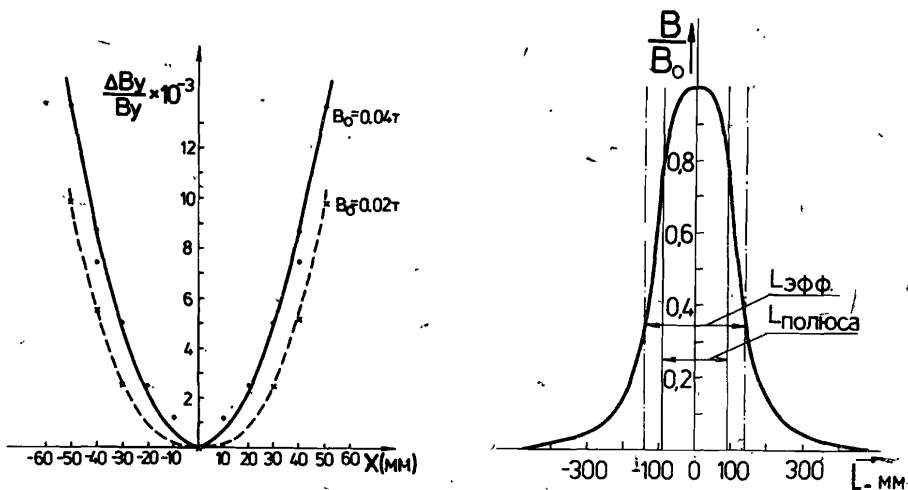


Рис.10. Нелинейность магнитного поля корректирующего электромагнита в medianной плоскости.

Рис.11. Распределение поля вдоль оптической оси корректирующего электромагнита.

Максимальная индукция магнитного поля электромагнита, имеющего рабочий зазор 0,115 м, составляет 0,04 Т при токе возбуждения 13,5 А /рис.9/. Неоднородность магнитного поля в рабочей зоне ± 50 мм - не более 2% /рис.10/. Магнит позволяет произвести коррекцию пучка в пределах $\pm 0,46^\circ$ при эффективной длине полюса 0,28 м /рис.11/.

4. Элементы вакуумной системы

Транспортировка пучков ионов осуществляется по ионопроводу с внутренним диаметром 100 мм, комплектуемому из труб длиной

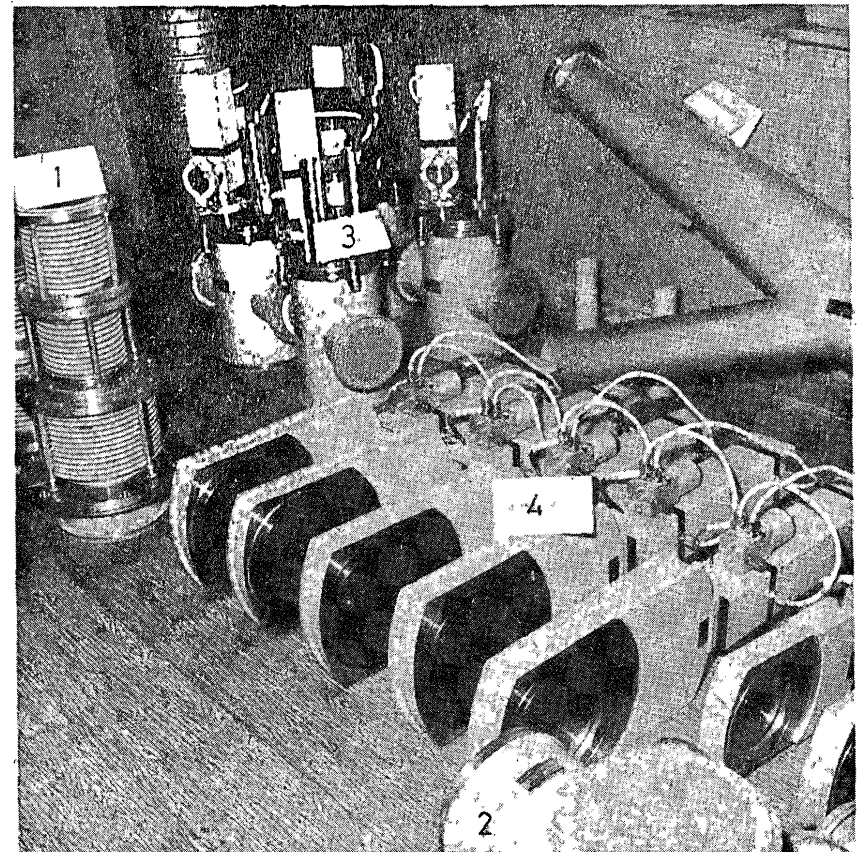


Рис.12. Элементы вакуумной системы: 1 - сильфон-компенсатор, 2 - блок диагностики, 3 - модуль высокого вакуума, 4 - шиберный затвор.

0,5; 1; 1,5; 2 м. Сборка всей вакуумной системы разводки пучков выполняется с применением центрирующих уплотнений быстроразъемными зажимами. Компенсация неточностей сборки производится сильфонами-компенсаторами /рис.12/. Вся система разводки каналов монтируется на шасси швеллерного исполнения, позволяющем использовать его для скрытой проводки токоподводов и водоснабжения. Элементы контроля параметров пучков размещаются в блоках диагностики /рис.12/. Откачка ионопровода до давления $1 \cdot 10^{-6}$ Тор производится посредством модулей высокого вакуума /рис.12/. Ионопроводы оснащены быстродействующими $10,5 \pm 2$ с/шиберными затворами с пневматическим приводом /рис.12/.

Модульная структура элементов системы транспортировки позволяет создать широкоразветвленную систему каналов, формирующих на физических мишенях пучки ионов с высокими характеристиками, и эффективно использовать ускоритель в физических исследованиях на современных экспериментальных установках.

В заключение авторы выражают благодарность акад. Г.Н.Флерову за поддержку и внимание к работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кленин Б.А. и др. ОИЯИ, 9-10213, Дубна, 1976.
2. Кленин Б.А. и др. ОИЯИ, 9-84-357, Дубна, 1984.
3. Brown K.L. et al. CERN Report 80-04, Geneva, 1980.
4. Погодин В.Н., Юрьев Г.А. Приборы и системы управления, 1972, 7, с.15.
5. Kumagai H. NIM, 1960, 6, p.213.

Рукопись поступила в издательский отдел
18 февраля 1985 года.

Бондаренко П.Г. и др.
Магнитооптические элементы
системы транспортировки пучков У-400

9-85-113

Приведены параметры и конструктивные особенности магнитооптических элементов системы транспортировки внешних пучков тяжелых ионов с максимальной магнитной жесткостью $1,25 \text{ Т} \cdot \text{м}$ изохронного циклотрона У-400, а также ряда вакуумных устройств. Система транспортировки включает разработанные дублеты квадрупольных линз /градиент магнитного поля 6 Т/м , длина полюса $0,3 \text{ м}$, апертура $0,11 \text{ м}$ /, отклоняющие магниты /индукция магнитного поля $1,3 \text{ Т}$, радиус поворота 1 м , угол отклонения 45° , зазор $0,08 \text{ м}$ / и магниты коррекции /индукция магнитного поля $0,04 \text{ Т}$, длина полюса $0,18 \text{ м}$, зазор $0,115 \text{ м}$ /. В системе применены вакуумные затворы с быстродействием $0,5 \pm 2 \text{ с}$. В настоящее время создана и эффективно работает разветвленная система из девяти магнитооптических каналов.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1985

Перевод О.С.Виноградовой

Bondarenko P.G. et al.
Magneto-Optical Elements of U-400 Cyclotron
Beam Transport System

9-85-113

The parameters and construction peculiarities of the magneto-optical elements of transport system of the external heavy ion beams with $1.25 \text{ T} \cdot \text{m}$ maximum magnetic rigidity of U-400 isochronous cyclotron and of few vacuum devices are presented. The transport system consists of the elaborated doublets of quadrupole lenses (1.3 T/m gradient of the magnetic field, the 0.3 m pole length, 0.11 m aperture), deflecting magnets (1.3 T magnetic field induction, 1 m bending radius, 45° deflection angle, 0.08 m gap) and correcting magnets (0.04 T magnetic induction, 0.18 m pole length, 0.115 m gap). Vacuum locks with $0.5 \pm 2 \text{ s}$ speed of response are used in the system at present. The beam transport system of nine magneto-optical channels has been developed and effectively put into operation.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 1985