

СЗ45к

К-484

422/2-77

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА

2/10-77



9 - 10213

Б.А.Кленин, С.И.Козлов, В.Н.Мельников, Ю.Л.Обухов

СИСТЕМА ТРАНСПОРТИРОВКИ
ВНЕШНИХ ПУЧКОВ ЦИКЛОТРОНА У-400

1976

9 - 10213

Б.А.Кленин, С.И.Козлов, В.Н.Мельников, Ю.Л.Обухов

СИСТЕМА ТРАНСПОРТИРОВКИ
ВНЕШНИХ ПУЧКОВ ЦИКЛОТРОНА У-400

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Кленин Б.А. и др.

9 - 10213

Система транспортировки внешних пучков циклотрона У-400

Описана система транспортировки внешних пучков изохронного циклотрона У-400. Общее число каналов внешних пучков 11, достигаемое благодаря применению установки снижения и коммутации (УСК).

Расчет и оптимизация параметров магнитных элементов ионно-оптической системы транспортировки проведены с помощью программы "TRANSPORT/360" с учетом аббераций второго порядка.

Определены допуски на установку элементов ионно-оптической системы транспортировки.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований
Дубна 1976

Сооружаемый в ЛЯР ОИЯИ изохронный циклотрон тяжелых ионов У-400^{1/} является многоцелевым ускорителем, на котором будет решаться широкий круг физических и прикладных задач.

Поэтому ускорительный комплекс У-400 должен включать в себя широко разветвленную систему транспортировки выведенных пучков, удовлетворяющую всем требованиям физического эксперимента.

К стационарным физическим установкам ускорительного комплекса относятся: установка для сепарации продуктов ядерных реакций; магнитный спектрометр - МС-А и универсальный электромеханический масс-спектрометр - (УЭММС).

Ряд каналов транспортировки предназначается для спектрометрических исследований (в условиях малого фона) по структуре атомных ядер и ядерных реакций с тяжелыми ионами, для исследований по радиохимии, а также для изучения радиоактивных свойств тяжелых и сверхтяжелых элементов. Кроме того, в системе разводки внешних пучков циклотрона У-400 предусмотрено пять свободных каналов, физические эксперименты на которых будут проводиться одновременно с исследованиями на стационарных установках. Это достигается благодаря характерной особенности вывода пучков тяжелых ионов перезарядкой.

Один из каналов будет оборудован для проведения работ по полупромышленному изготовлению ядерных фильтров.

Настоящая работа посвящена выбору схемы и параметров элементов трактов ионно-оптической системы пучков циклотрона У-400.

Расчет и определение параметров ионной оптики стационарных физических установок будет проводиться отдельно.

СИСТЕМА РАЗВОДКИ ВНЕШНИХ ПУЧКОВ ЦИКЛОТРОНА У-400

Эффективность использования ускорителя во многом определяется качеством системы транспортировки пучков. Широко разветвленная система каналов позволяет проводить многоплановые исследования.

Вывод ионов перезарядкой, который будет применяться на циклотроне У-400, дает возможность получать как два выведенных пучка одновременно, так и два противоположных направления разводки внешних пучков (рис. 1). Кроме того, поскольку медианная плоскость циклотрона У-400 расположена на расстоянии 4 м от отметки пола, разводку пучков предполагается осуществить как на уровне медианной плоскости, так и на уровне 1,3 м от отметки пола (рис. 2). Для осуществления последней предполагается создать специальную электромагнитную установку, позволяющую производить перенос пучка на этот уровень. Эта установка будет состоять из двух секторных электромагнитов с углом поворота $\pm 90^\circ$ и расположенных один над другим на расстоянии 0,7 м. Кроме того, нижний электромагнит имеет возможность вращаться вокруг вертикальной оси входящего в него пучка в пределах $\pm 120^\circ$ без нарушения вакуума, совмещая таким образом функции поворотного и коммутирующего магнитов.

Распределение поля в магнитах установки снижения и коммутации (УСК) выбрано однородным; граница магнита перпендикулярна направлению входящего в него пучка. Все это упрощает изготовление магнитов и коммутацию пучка по разным направлениям. Радиус центральной траектории частиц в магните равен 100 см, длина магнитной дорожки - 150 см; величина магнитного поля ≤ 15 кЭ; апертура магнита - $10 \times 6,5$ см².

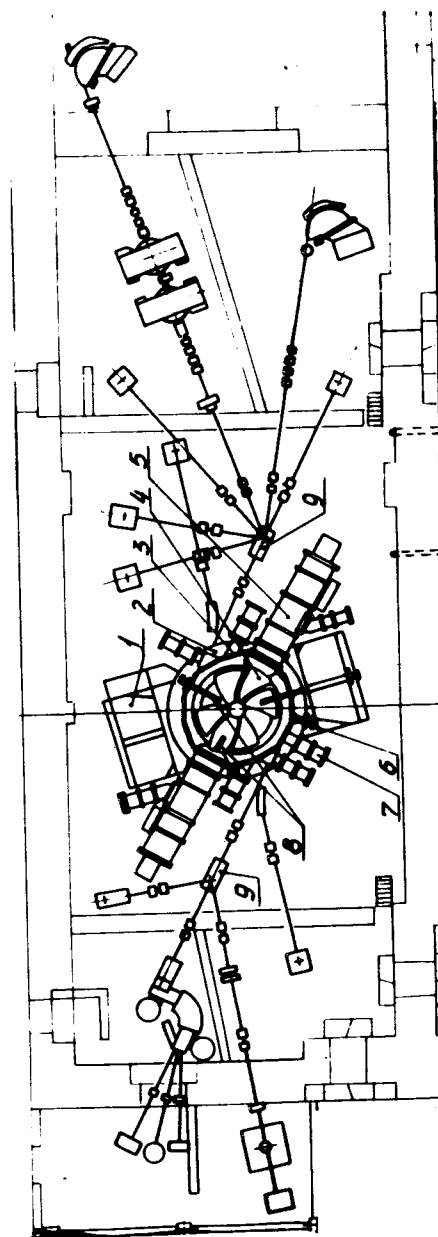


Рис. 1. Схема транспортировки внешних пучков изохронного циклотрона У-400.

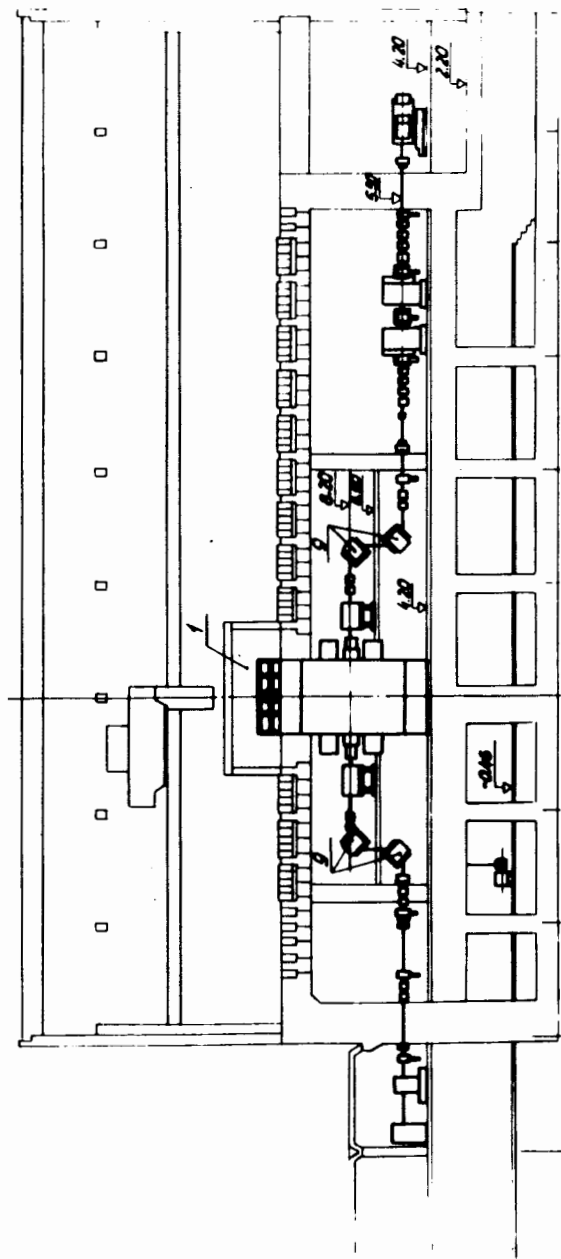


Рис. 2. Схема транспортировки внешних пучков изохронного циклотрона У-400 (вертикальный разрез).

В качестве УСК предполагается использовать электромагниты типа "оконная рама" как обладающие высокой однородностью магнитного поля. Результаты расчетов неоднородности магнитного поля в медианной плоскости электромагнита "оконная рама" и его намагничивание представлены на рис. 3. Из приведенной зависимости видно, что неоднородность поля при уровне его ≤ 15 кЭ не хуже 10^{-3} . Вес железа электромагнита составит 7 Т. Таким образом, при использовании УСК общее число каналов внешних пучков циклотрона У-400 достигает 11 (рис. 1,2), что позволяет с большой эффективностью использовать площадь экспериментального зала.

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТИРОВКИ

Предварительный выбор параметров и расстановка элементов каналов внешних пучков были выполнены на основе аналитических оценок, исходя из того, что максимальная жесткость выведенного пучка методом перезарядки не превышает 12,5 кЭ.м.

Оптимизация системы была проведена на ЭВМ CDC-6400 с помощью специальной программы "TRANSPORT/360", разработанной в Стенфорде^{1/2/},

Программа использует матричную алгебру с учетом абберационных членов второго порядка малости, причем оптимизация системы проводится только в линейном приближении. Эволюция пучка в процессе его транспортировки через ионно-оптическую систему рассматривается в шестимерном фазовом пространстве $X, X'; Y, Y'; \ell, \delta$. Здесь X, Y - координаты огибающих пучка во взаимно-перпендикулярных плоскостях, отсчитываемые от центральной траектории; X', Y' - угловые расходимости пучка в точках X, Y ; ℓ - разность длин пути произвольного луча и центральной траектории; $\delta = \Delta p/p$ - отклонение по импульсу частицы относительно центральной траектории.

Используемая программа позволяет проводить варьирование переменных параметров для десяти элементов

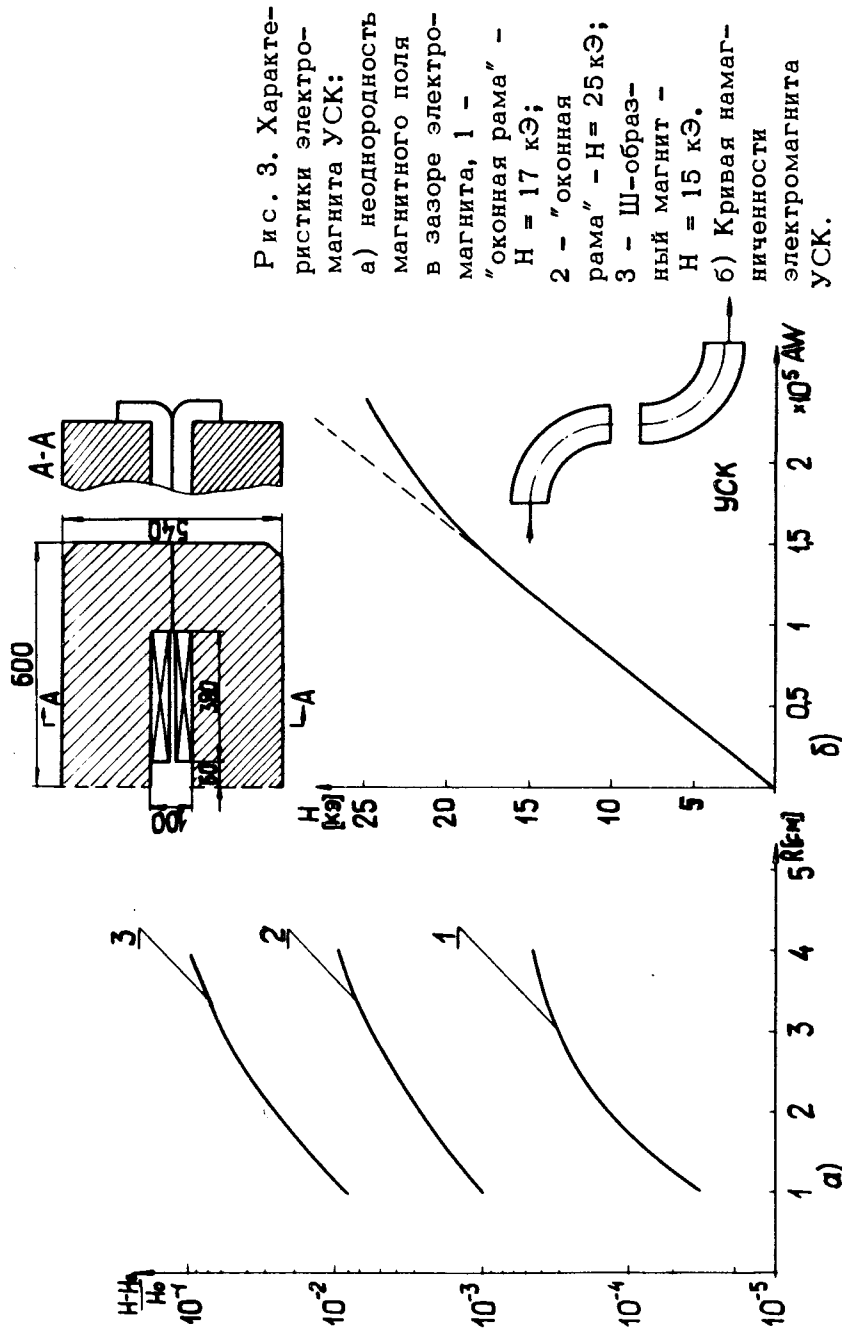


Рис. 3. Характеристики электромагнита УСК:
 а) неоднородность магнитного поля в зазоре электромагнита, 1 - "оконная рама" - $H = 17$ кЭ;
 2 - "оконная рама" - $H = 25$ кЭ;
 3 - Ш-образный магнит - $H = 15$ кЭ.
 б) Кривая намагниченности электромагнита УСК.

канала (длина дрейфа, градиент магнитного поля квадруполь, поле магнитов УСК с учетом эффекта краевого поля) одновременно при выполнении заданных требований к параметрам пучка (размеры, угловая расходимость) в выбранных точках канала.

Параметры пучка ионов, выведенного из циклотрона У-400, следующие:

горизонтальный эмиттанс	- 80 мм ² рад
вертикальный эмиттанс	- 40 мм ² рад
горизонтальный размер пучка	- 40 мм
вертикальный размер пучка	- 30 мм
энергетическая неоднородность	- $\leq 1\%$

Оптимизация параметров ионно-оптической системы каналов проводилась на основе требований получения на мишени пучка размером 20×20 мм² и прохождения всех каналов без потерь.

Фокусирующими элементами ионно-оптической системы каналов выбраны дублеты квадрупольных линз 2МЛ5-2 (эффективная длина - 30 см, апертура - 13,86 см, градиент магнитного поля $420 \cdot \text{Э см}^{-1}$, которые, как показали расчеты, удовлетворяют всем перечисленным выше требованиям на параметры пучка.

В качестве примера на рис. 4,5 представлены огибающие координат и расходимостей пучка в вертикальном и горизонтальном направлениях для ряда каналов.

Энергетическая неоднородность в пучке ($\Delta E/E = 1\%$), как показали расчеты, приводит к уширению изображения на мишени до 20% по сравнению с монохроматическим пучком, а при строго заданном размере пучка на мишени - к увеличению градиентов квадрупольных линз (рис. 4).

Для устойчивой трассировки и уменьшения размеров пучка на мишени питание системы УСК должно быть стабилизировано с точностью $2-3 \cdot 10^{-4}$ линз - 10^{-3} . В отличие от ошибки в силе магнитов или линз неточности в установке элементов не приводят к ухудшению качества пучка, однако уменьшают эффективность транспортировки. К таким неточностям относятся: сдвиг, поворот и наклон осей магнитов и квадрупольных линз относительно оси ионопровода. Расчеты показывают, что

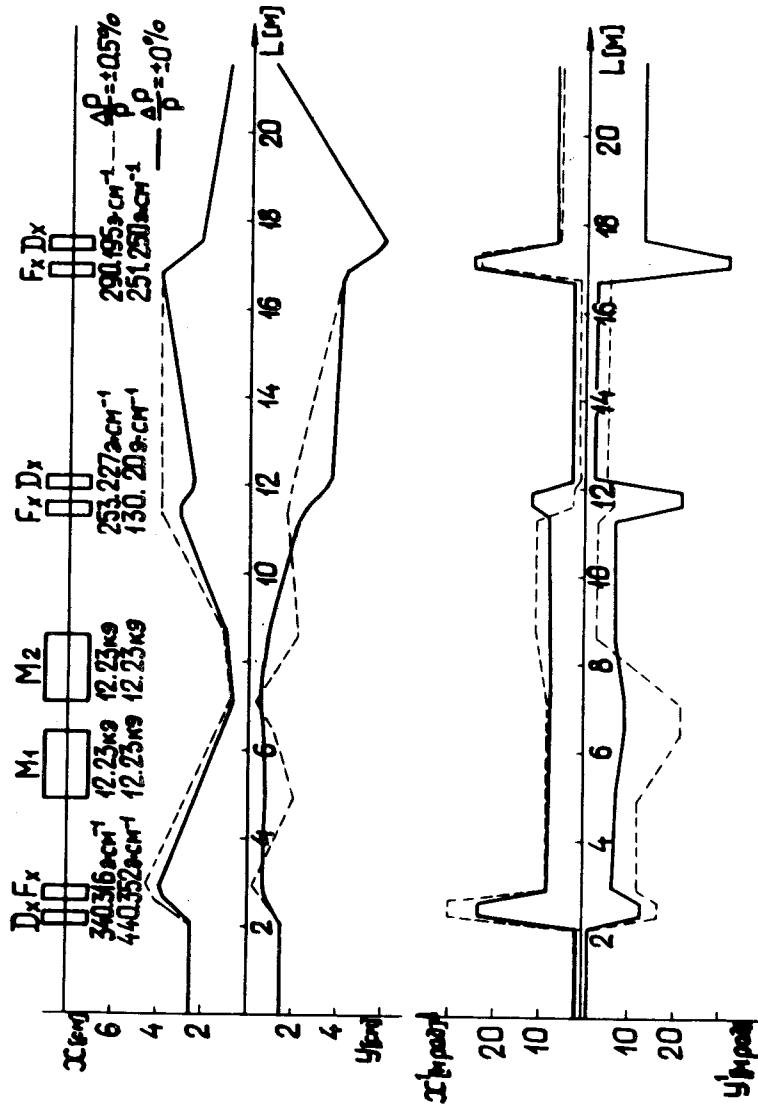


Рис. 4. Огибающие пучка и угловые огибающие для канала №10 при $\frac{\Delta p}{p} = 0$ и $\frac{\Delta p}{p} = \pm 0,5\%$ (--- $\frac{\Delta p}{p} = 0$; — $\frac{\Delta p}{p} = \pm 0,5\%$).

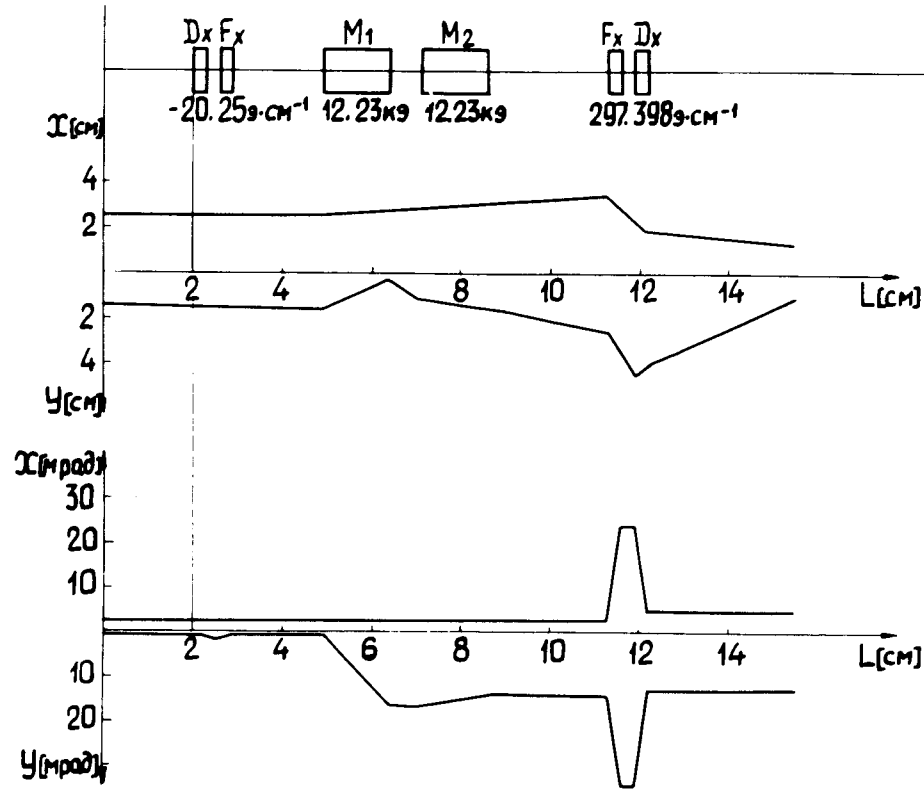


Рис. 5. Огибающие пучка и угловые огибающие для канала №11.

допуски на установку элементов должны быть выдержаны в следующих пределах:

1. Величина смещения линз в поперечном направлении - ± 1 мм.
2. Величина смещения магнитов по двум взаимно-перпендикулярным направлениям - ± 1 мм.
3. Угловые допуски - ± 1 мрад.

Расчеты каналов транспортировки с учетом aberrаций второго порядка показывают их существенную роль, поскольку размеры пучка на мишени увеличиваются на 30% (рис. 5) и основной вклад вносят магниты УСК.

К эффектам смещения пучка на мишени приводит несогласование угла выхода из камеры циклотрона с осью ионопровода, а также сдвиг центра пучка относительно этой оси. Так, если сдвиг равен 0,5 см, то это вызывает смещение пучка на мишени до 1 см (канал №11). Для устранения ошибок в положении пучка или в направлении его движения в схему транспортировки каждого канала будут введены корректирующие устройства, воздействующие на пучок поперечным магнитным полем.

Авторы выражают искреннюю благодарность академику Г.Н.Флерову за постановку задачи и постоянное внимание к работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. И.А.Шелаев и др. ОИЯИ, Р9-5086, Дубна, 1970.
2. K.L.Brown, B.K.Kear, S.K.Howry, "TRANSPORT/360 A Computer Program for Designing Beam Transport Systems", SLAC Report No.91, Stanford Linear Accelerator Center, Stanford University, Stanford, California (1970).

Рукопись поступила в издательский отдел
9 ноября 1976 года.