

T-66

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

9 - 10388

ТРЕЙБАЛ
Зденек

СИСТЕМЫ
ВЫВОДА И АКСИАЛЬНОЙ ИНЖЕКЦИИ ПУЧКА
В ИЗОХРОННОМ ЦИКЛОТРОНЕ У-120М

Специальность: 01.04.13 - электрофизика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1977

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем
Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель - доктор физико-математических
наук В.В.Кольга.

Официальные оппоненты:

Доктор физико-математических наук В.П.Саранцев,

Кандидат физико-математических наук А.В.Степанов.

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Институт атомной энергии имени И.В.Курчатова.

Автореферат разослан " _____ " 1977 года.

Защита состоится " _____ " 1977 года.

в " _____ " часов на заседании Специализированного Ученого
совета Лаборатории ядерных проблем Объединенного института
ядерных исследований, г.Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь специализированного Совета
кандидат физико-математических наук

Ю.А.Батусов

Ядерная физика низких и средних энергий за прошедшие десятилетия своего существования продвинулась далеко вперед. Но вместе с появлением новых знаний о свойствах ядер выросли и требования к аппаратуре, применяемой для ядерных исследований.

В настоящее время существует несколько направлений усовершенствования экспериментальных установок (ускорителей, реакторов, массепараторов, спектрографов и т.д.), развитие которых необходимо для успешного изучения строения атомного ядра.

Одним из таких направлений развития экспериментальной базы в физических институтах стран-участниц ОИЯИ является замена классических циклотронов изохронными с одновременным улучшением параметров ускоренных пучков.

В результате коренной модернизации существующего классического циклотрона в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ в течение 1971+1976г.г. создан новый ускоритель - изохронный циклотрон У-120М, который будет работать в Институте ядерной физики АН ЧССР, в Рже под Прагой. Этот циклотрон возник на базе морально устаревшего, построенного в пятидесятых годах, классического циклотрона У-120, который более пятнадцати лет работает в ряде институтов СССР и большинства стран-участниц ОИЯИ.

Новый циклотрон, проектные параметры которого приведены в таблице I, - это современный ускоритель, отвечающий все возрастающим требованиям физиков-экспериментаторов. Так, энергия ускоряемых в нем протонов изменяется от 12,4 до 40 МэВ. Помимо протонов с его помощью можно ускорять дейтоны до энергии 20,3 МэВ, α -частицы и ${}^3\text{He}^{+2}$. Достижимая интенсивность ускоренного пучка составляет $20 \cdot 100$ мкА.

Настоящая диссертация посвящена исследованию двух основных систем изохронного циклотрона У-120М: системам ввода и вывода пучка.

Выбор структуры, расчет и разработка системы вывода ускоренного пучка явились основной целью диссертации. В работе изложены также результаты выбора варианта и расчета ионооптической системы ввода частиц от внешнего источника через осевой канал электромагнита циклотрона.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и дополнена шестью приложениями.

Во введении дан краткий обзор основных параметров изохронного циклотрона У-120М.

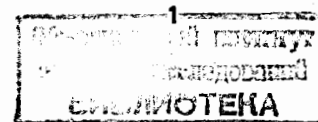


Таблица № I. Основные параметры изохронного циклотрона У-120М.

Параметр, размерность	Частицы		
	ρ	d	α
Макс. энергия, МэВ	40,0	20,3	40,9
Мин. энергия, МэВ	12,4	8,3	16,6
Предельный радиус R_k , см	51	51	51
Макс. средн. индукция, кГс ($z = R_k$)	18,1	18,1	18,1
Мин. средн. индукция, кГс ($z = R_k$)	10,0	11,6	11,5
Диапазон частот своб. колебаний Q_z	$1 \pm 1,04$	$1 \pm 1,01$	$1 \pm 1,01$
Диапазон частот своб. колебаний Q_z	$0 \pm 0,2$	$0 \pm 0,3$	$0 \pm 0,3$
Максимальная частота, МГц	26,5	13,7	13,8
Минимальная частота, МГц	15,1	8,8	8,8
Ампл. ускоряющего напр., кВ	40 + 50		
Стабильность амплитуды	10^{-3}		
Мощность в/ч генератора, кВт	150		
Периодичность магн. поля N	4		
Параметр спирали λ , см	4,5		
Минимальный зазор между спиральными шиммами, см	8,2		
Интенсивность внутр. пучка, мкА	20 + 100		
Радиальный эмиттанс на радиусе $z = R_k$, мм.мрад	8π		
Вертикальный эмиттанс на радиусе $z = R_k$, мм.мрад	$7,2\pi$		
Разрешение по энергии	$(1 + 3) \cdot 10^{-3}$		

В первой главе приведен обзор существующих систем вывода пучка из циклотронов и проведено их сопоставление с требованиями, предъявляемыми к циклотрону У-120М. Два основных ограничения, которые определили выбор системы вывода, были вызваны требованиями моноэнергетичности ускоренного пучка и минимума искажений эмиттансов выведенного пучка. Первое - вывод желательно осуществить только с одной орбиты. Второе - необходимость вывода пучка из области изохронно-растущего магнитного поля ($Q_z > 1$). В этом случае можно в течение всего процесса вывода поддерживать фазу цент-

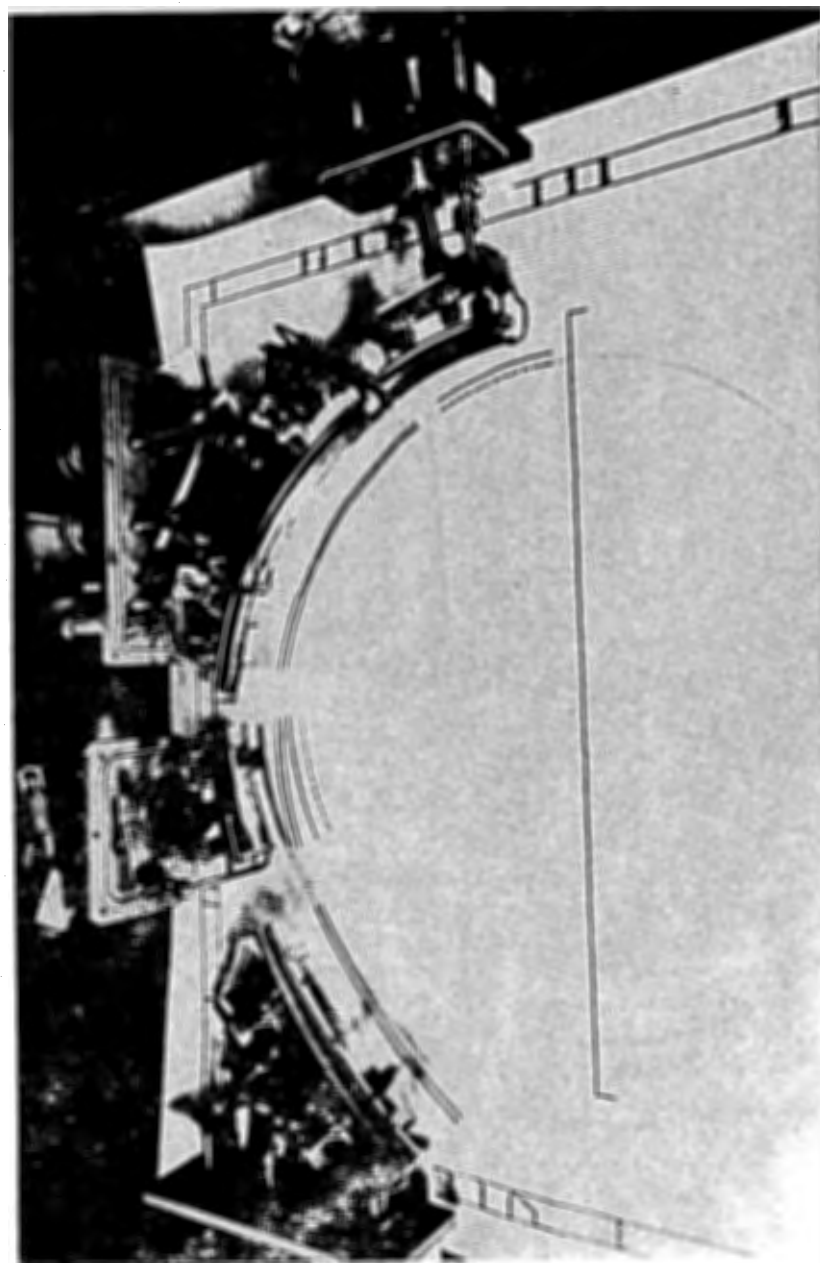


Рис. I

ра ускоряемого сгустка волизи нуля и не увеличивать, таким образом, в зоне вывода энергетический разброс частиц ($\Delta W/W$) в сгустке. В связи с первым ограничением нежелателен классический регенеративный вывод, при котором возбуждается параметрический резонанс и в канал дефлектора попадают частицы с разных орбит, а также существенно искажаются эмиттансы пучка. Второе ограничение исключает применение прецессионного вывода частиц, прошедших через резонанс $Q_z=1/1$ в область спадающего магнитного поля ($Q_z < 1$).

Наиболее предпочтительным является метод, использующий одновременное действие первой и второй гармоник возмущения поля с возможностью регулировки относительного вклада этих гармоник. Как показало детальное рассмотрение, этот метод позволяет получить хорошее разделение орбит в области вывода при сохранении эмиттансов поперечного движения. Кроме того, учитывая особенности циклотрона У-120М (такие как широкий диапазон перестройки магнитного поля, малый зазор в ускорительной камере), было решено выполнить все элементы выводной системы в виде устройств, создающих только электростатические поля. Общий вид системы вывода циклотрона У-120М представлен на рис. 1.

В первой главе приведен также обзор существующих систем внешней инжекции частиц в циклотрон. В качестве наиболее эффективной для циклотрона У-120М выбрана аксиальная инжекция со спиральным индифлектором такого типа, как на изохронном циклотроне в Гренобле.

Во второй главе рассмотрен процесс возбуждения когерентных радиальных колебаний в области вывода с помощью локальных неоднородностей электростатического поля. Расчет колебаний проведен в три этапа: двумя приближенными способами и точным численным расчетом. Первое приближение - аналитическое. Выведены линейные зависимости однооборотных приращений радиальной координаты ($\Delta \rho$) одной частицы и ее производной по азимуту ($\Delta \rho'$) в зависимости от величин (ψ_i) и азимутов (ϕ_i) возмущающих толчков:

$$\Delta \rho = - \sum_{i=1}^k \psi_i \frac{\Delta \phi_i}{Q_z} \sin Q_z (\phi_i - 2\pi) + \frac{\rho_0'}{Q_z} \cdot 2\pi(Q_z - 1),$$

$$\frac{\Delta \rho'}{Q_z} = \sum_{i=1}^k \psi_i \frac{\Delta \phi_i}{Q_z} \cos Q_z (\phi_i - 2\pi) - \rho_0 \cdot 2\pi(Q_z - 1),$$

где $\Delta \phi_i$ - азимутальная протяженность i -го возмущения, Q_z - частота радиальных колебаний, ρ_0 , ρ_0' - радиальное отклонение частицы от равновесной орбиты (z_E) и его производная по азиму-

ту в начале рассматриваемого оборота, K - число локальных неоднородностей, действующих на обороте.

Анализ полученных соотношений показывает, что при действии на обороте только одного толчка невозможно обеспечить одновременно заброс достаточной величины и устойчивость радиального эмиттанса. Однако при наличии двух локальных возмущений, создаваемых электростатическими полями, и при выполнении условий $|\phi_1 - \phi_2| \approx \frac{\pi}{2}$ и $\frac{d\psi_1}{dz} \cdot \frac{d\psi_2}{dz} / r_1 r_2 > 0$ можно обеспечить вышеуказанные требования. Зона первого возмущения ("возбудитель") должна быть расположена непосредственно перед началом дефлектора, второго ("компенсатор") - на расстоянии $\sim 90^\circ$ за первым. Качественно определена радиальная зависимость возмущающей электрической силы обоих толчков и количественно оценена величина второго из возмущений на последнем обороте (~ 39 кВ/см).

Вторым приближением является численный расчет всего процесса возбуждения радиальных колебаний, проводимый на ЭВМ по приближенным формулам ^{1,3/}. С помощью этого цикла расчетов были подтверждены заключения, сделанные на основе аналитического описания процесса возбуждения когерентных колебаний, в частности детально исследованы условия устойчивости радиального эмиттанса пучка при наличии возмущающих полей. В результате оптимизации десяти параметров, определяющих электрические поля возбудителя и компенсатора, были найдены количественные зависимости этих полей от радиуса и азимута. Полученный при этом процесс раскачки когерентных колебаний моноэнергетического пучка изображен на рис.2.

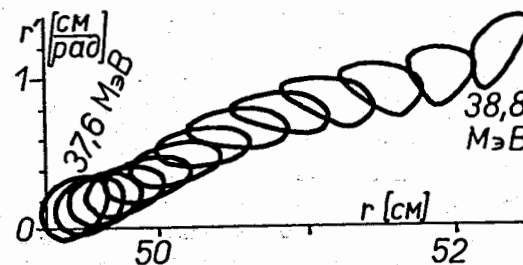


Рис.2

Вывод пучка возможен с орбиты, соответствующей энергии 38,8 МэВ. Эти данные являлись, в свою очередь, основой для вычисле-

ния поперечного сечения электродов возбуждателя и компенсатора. Для данной цели были разработаны два метода⁶, которые позволяют при использовании малой ЭМ находить точное решение двумерного уравнения Лапласа с граничными условиями, заданными в конечном числе точек. На рис. 3 изображены конфигурации эквипотенциалей возбуждателя (В) и компенсатора (К). Пунктирными линиями изображены электроды.

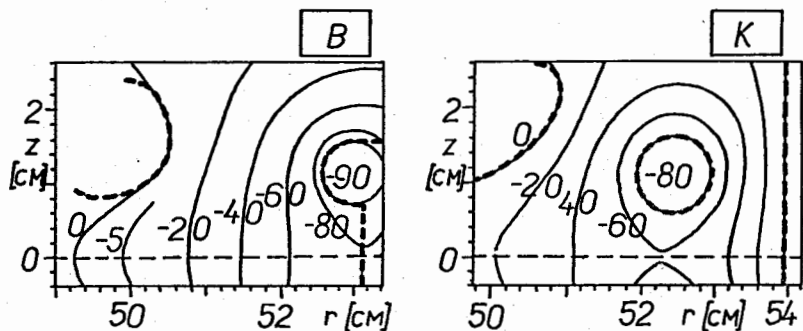


Рис. 3

Третий этап расчетов возбуждения радиальных колебаний был проведен на ЭМ с использованием полных уравнений движения^{3,7}. С помощью системы подпрограмм "КАТКА", созданной для этой цели, были исследованы радиальная и аксиальная устойчивости невозмущенных орбит, моделировался процесс ускорения пучка и его возбуждение компенсатором и возбуждателем. На рис. 4 представлена диаграмма частот для различных энергий при максимальном уровне магнитного поля.

Был проведен контрольный поиск оптимальной настройки системы возбуждения для четырех энергий ускоряемых частиц и выяснен ряд свойств рассматриваемой системы. На рис. 5 изображен процесс возбуждения синхронных колебаний в оптимальном режиме ($U_g = U_k = -80$ кВ). Для уточнения физической картины процесса раскачки был выполнен гармонический анализ возмущающей силы, который показал относительно роль как первой, так и второй гармоник возмущения. Первая гармоника создает когерентные колебания с требуемой фазой (синхронный режим). Затем быстрый рост амплитуды второй гармоники возбуждает параметрический резонанс $Q_2 = 2/2$. Заброс пучка в дефлектор увеличивается благодаря резкому сдвигу фазы первой гар-

моники в сторону, обратную движению частиц за несколько оборотов до вывода.

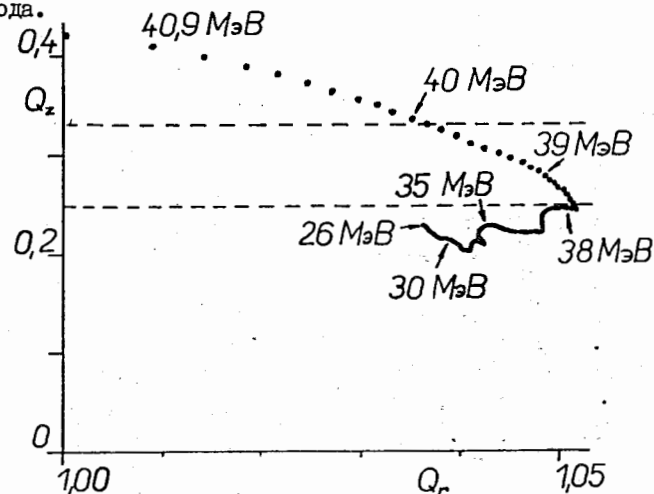


Рис. 4

Именно совместное действие внешнего и параметрического резонансов позволяет создать более гибкую систему, которая обеспечивает достаточный заброс пучка в дефлектор при минимальном искажении эмиттансов для всех уровней магнитного поля.

В результате проведенных вычислений было далее определено допустимое значение I-й гармоники магнитного поля, которое при максимальной энергии протонов равно ~ 5 Гс. Эффективность системы вывода определяется, в первую очередь, работой системы возбуждения когерентных колебаний. Условия для возбуждения колебаний пучка протонов с энергией 40 МэВ в максимальном магнитном поле наиболее жесткие. На основе рис. 2 и рис. 5 следует ожидать, что эффективность вывода в этом режиме будет равна $60 \div 80\%$. В остальных режимах она будет выше. Моноэнергетичность выведенного пучка существенно зависит от действия системы возбуждения радиальных колебаний. Проведенные численные расчеты показали, что при оптимальной настройке из ступки частиц, соответствующего одному обороту, с разбросом энергий, определяемым фазовым движением в процессе ускорения¹⁵, септумом дефлектора будут постепенно отделяться только частицы, энергетический разброс которых не превысит набора энергии за один оборот. Это, например, означает, что при конечной

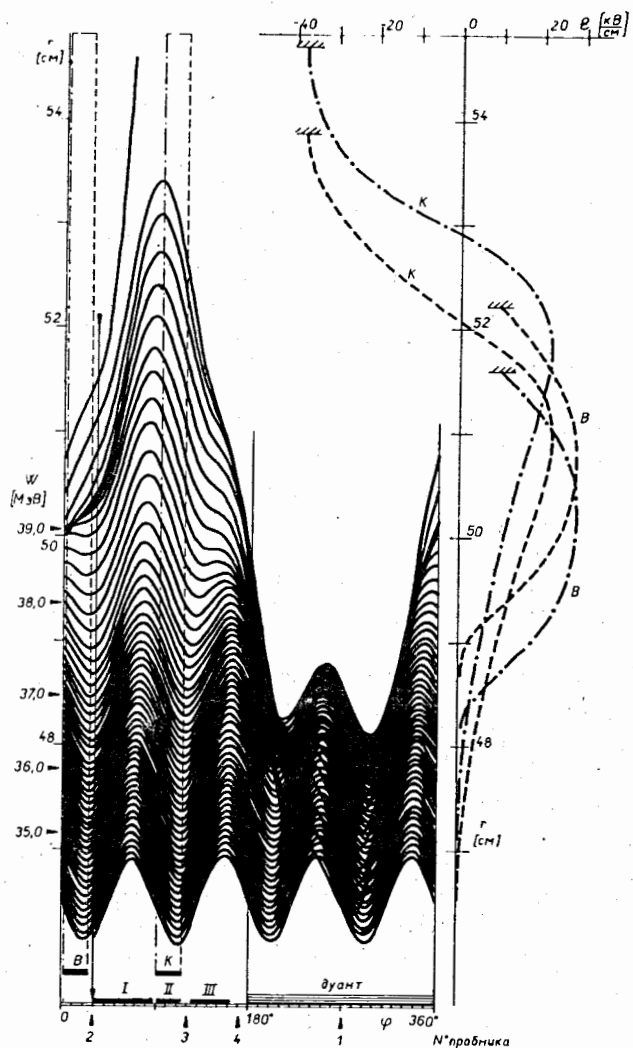


Рис.5

Возбуждение синхронных колебаний частицы для центра эллипса. Справа - радиальная зависимость напряженности электрических полей возбуждителя и компенсатора на азимутах их начал и концов.

энергии протонов $W_k = 40$ МэВ и амплитуде ускоряющего напряжения на дуанте 50 кВ относительный разброс в выведенном пучке $(\Delta W/W)$ будет не хуже, чем $2,5 \cdot 10^{-3}$.

Третья глава посвящена системе отклонения пучка, которая должна обеспечивать захват последнего оборота пучка с возможно малыми потерями, отклонение и транспортировку пучка через поле рассеяния магнита циклотрона без существенного увеличения максимальных значений размеров пучка и его угловой расходимости до первого фокусирующего элемента системы разводки пучка $2/2$. Вывод пучка из изохронно растущего поля существенно затруднен. С учетом этого обстоятельства была выбрана такая фаза возбуждаемых колебаний, чтобы пучок входил в начало отклоняющего канала с большой радиальной скоростью под углом к центральной окружности 20 ± 30 мрад. Спиральная структура магнитного поля была развернута таким образом, чтобы канал отклоняющей системы начинался за 6° до минимума магнитного поля. Исходя из необходимой ориентации циклотрона по отношению к имеющейся в ИЯФ ЧСАН линии транспортировки выведенного пучка, пришлось ввести принципиальные изменения в размещение основных узлов ускорителя по сравнению со старым циклотроном У-120: высокочастотный резонатор был перенесен на противоположную сторону ускоряющей камеры, и на трассу вывода был помещен дополнительный отклоняющий магнит (см.рис.6; "а" - ориентация узлов классического циклотрона У-120 в институтах стран-участниц ОИЯИ, "б" - ориентация узлов и направление вывода пучка циклотрона У-120М).

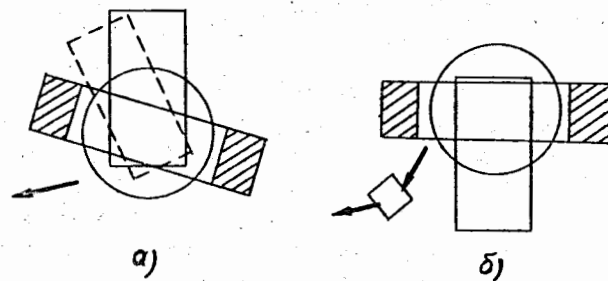


Рис.6

Как упоминалось выше, для циклотрона У-120М была выбрана полностью электростатическая система вывода. Весь выводной канал

был разделен на три отдельные секции, каждая из которых проводит пучок через определенный диапазон азимутов и радиусов с определенной зависимостью показателя магнитного поля $n(\zeta)$ от радиуса. В соответствии с этим распределяются и функции отдельных секций отклоняющей системы. Первая секция производит в основном отклонение пучка и достижение неустойчивой области ($n < -1$), в то время как вторая и третья секции системы создают фокусирующие силы относительно центра радиального эмиттанса пучка, обеспечивающие радиальную устойчивость пучка относительно центральной траектории. Аксиальная устойчивость, создаваемая спадающим магнитным полем, должна при этом сохраняться. На рис. 7 изображена общая схема расположения элементов системы вывода.

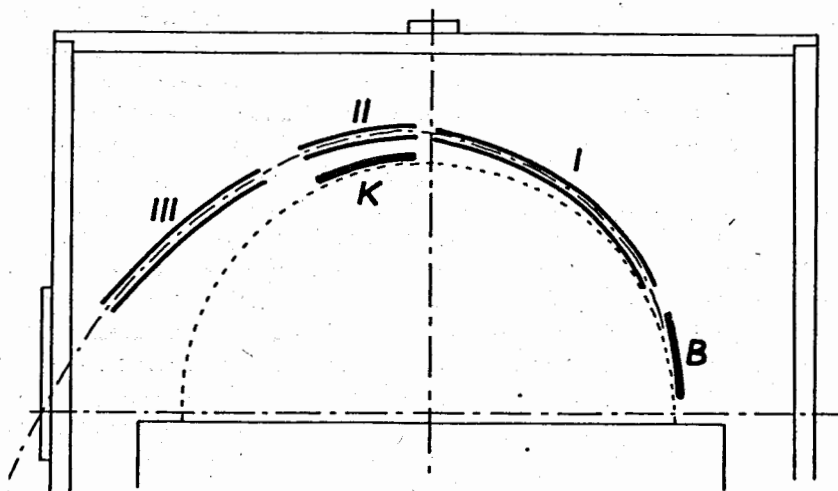


Рис. 7

Как показал расчет⁴, достаточно воспользоваться одной формой сечения электродов (с поперечными размерами рабочей области $1,0 \times 1,0$ см) на протяжении всех секций. На рис. 8 приведена форма поперечного сечения элементов отклоняющей системы. Исключение составил начальный участок первой секции канала с однородным электрическим полем и плоскими электродами, что позволило реализовать достаточно тонкий септум ($0,03 + 0,05$ см). Радиальную и вертикальную фокусировку пучка при сохранении направления вывода можно настраивать изменением соотношения потенциалов на I-й и 3-й секциях системы.

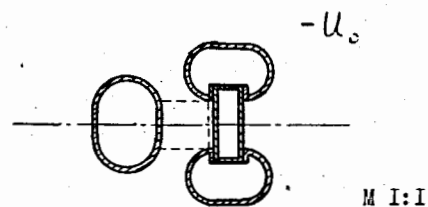


Рис. 8

С помощью набора подпрограмм "КАТКА" было проведено численное моделирование динамики выводимого пучка для четырех значений энергий частиц. На основании полученных результатов были определены электрические и механические параметры отклоняющего канала и оптические свойства пучка вдоль трассы вывода, в частности оптимальная азимутальная протяженность плоской части первой секции составила 40° . В режиме вывода протонов с максимальной энергией, который является самым трудным для отклоняющей системы, необходимо подавать на ее высоковольтные электроды потенциал -90 кВ при зазоре между плоскими электродами в начале I-й секции $0,6$ см. Полные размеры пучка Δr и Δz на радиусе $\zeta = 150$ см (точка "з" на рис. 9) в этом случае равны $0,77$ и $1,55$ см, соответственно. Несущественное увеличение размеров пучка произойдет при понижении потенциала с -90 кВ до -80 кВ. Понижение его значения до -70 кВ недопустимо в связи с ростом в основном горизонтального размера пучка. Радиальные и вертикальные эмиттансы пучка, проходящего через все три секции отклоняющей системы, изображены на рис. 9.

Численным расчетом была определена величина дисперсии ($D = \frac{\Delta X}{\Delta W/W}$) вдоль выводной траектории. При $\zeta = 150$ см ее значение составляет $0,8$ н.

В четвертой главе диссертации рассмотрены основные элементы аксиального инжектора (инфлектор и канал транспортировки инжектируемого пучка), предложена общая схема инжектора и определены основные параметры рассматриваемой системы.

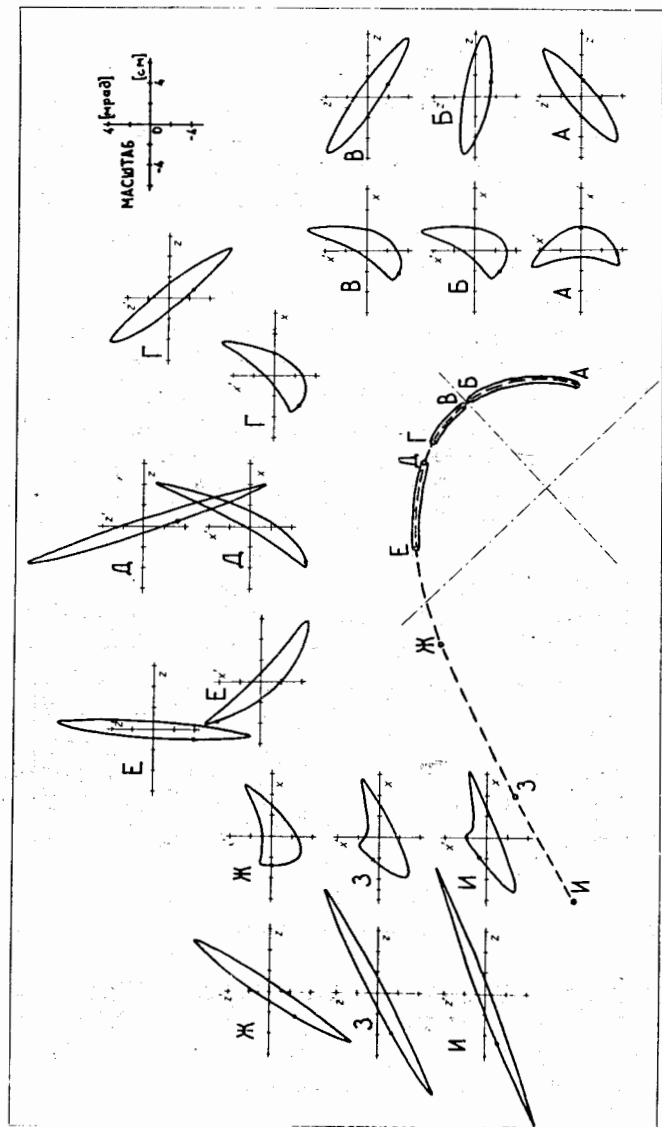


Рис.9

Центральная область магнитного поля сформирована таким образом, что для аксиально инжектируемого пучка в области крышек ускорительной камеры оставлено осевое отверстие диаметром 1,4 см. По этой причине наиболее целесообразно использовать для отклонения пучка в среднюю плоскость циклотрона спиральный инфлектор такого типа, как на циклотроне в Гренобле, поскольку только этот тип инфлектора способен без дополнительных трудностей обеспечить нужную центровку пучка. Из условия согласования его эмиттанса с эмиттансом циклотрона получены следующие параметры: кинетическая энергия инжектируемых протонов при максимальном уровне магнитного поля $W_k = 30$ кэВ, зазор между электродами инфлектора — 0,825 см и максимальный эмиттанс отклоняемого пучка — 1310 мм.мрад.

В качестве системы транспортировки инжектируемого пучка выбран непрерывный электростатический спиральный квадруполь (см. рис.10), обладающий большим значением акцептанса (более чем 1000 мм.мрад при диаметре осевого отверстия в электромагните 8 см) и простотой конструкции.

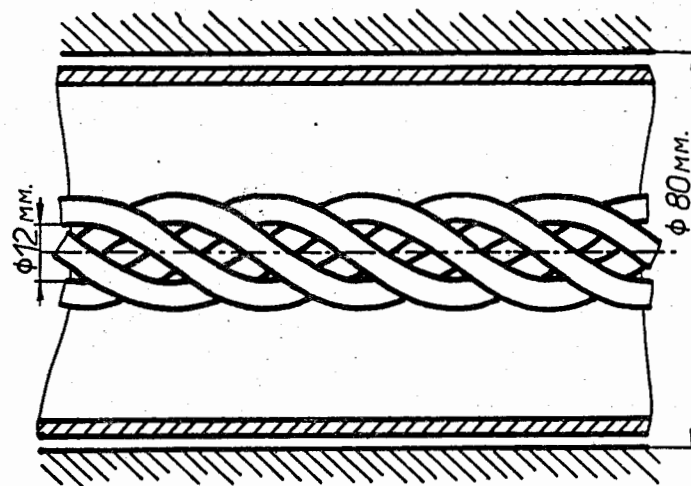


Рис.10

Его электроды могут быть выполнены в виде четырех круглых проводников ($\varnothing 0,44 + 0,50$ см) с чередующимся потенциалом $\pm V_0$, которые четырьмя спиральями окружают цилиндрический рабочий объем. С учетом параметров инфлектора подобраны параметры спирального квадруп-

поля (шаг спирали 7,7 см, потенциал 4,23 кВ, радиус рабочей области 0,55 см), обеспечивающие перенос пучка с двумерным эмиттансом 1360 мм.мрад. Магнитное поле на оси инъекции при максимальном токе возбуждения электромагнита достигает величины $\sim 1,5$ кГс, что дает незначительный вклад в общее фокусирующее действие электростатического канала. Численный расчет динамики инжектируемого пучка в спиральной системе с учетом рассеянного магнитного поля подтвердил правильность аналитических результатов.

В четвертой главе рассмотрено также дебанчирующее действие жесткофокусирующей системы, которое пропорционально длине дрейфового участка группирователя. Чтобы иметь возможность с помощью группирователя формировать интенсивные ионные ступки протяженностью $\sim 10^0$, необходимо разместить группирователь в ядре электромагнита, разделив спиральный квадруполь на две части.

В пятой главе описаны результаты экспериментов с системой вывода на изохронном циклотроне У-120М. Решающим этапом для проверки работоспособности всей системы считалось возбуждение радиальных колебаний и вывод пучка двумя первыми секциями отклоняющей системы. Были проведены визуальные наблюдения ускоренного пучка протонов на кварцевой мишени, закрепленной в конце первой секции на ее заземленном электроде (см.рис.11, где мишень обведена кружком), и получен отпечаток отклоненного пучка (см.рис.12). В результате работы с пучком можно сделать следующие выводы: 1) система возбуждения когерентных радиальных колебаний работает нормально; 2) пучок может быть отклонен первой секцией с орбиты в область спадающего магнитного поля ($n < -1$); 3) вывод пучка до радиуса 57 см осуществляется с эффективностью выше 70%.

Несколько вопросов, имеющих вспомогательный характер, описаны в шести приложениях. В приложениях А и Б даны описания двух методов расчета двумерных электростатических полей⁶. Приложение В схематически описывает большую систему модульных подпрограмм "КАТКА" (более 7000 перфокарт), с помощью которой было проведено большинство описанных численных расчетов. Для интегрирования уравнений движения в этой системе был использован метод, описание которого дано в приложении Г. В приложении Д рассмотрено возбуждение линейного осциллятора периодической силой с линейно изменяющимися амплитудой и фазой, а в приложении Е приведены результаты численного расчета по определению электростатического поля спирального квадруполя.

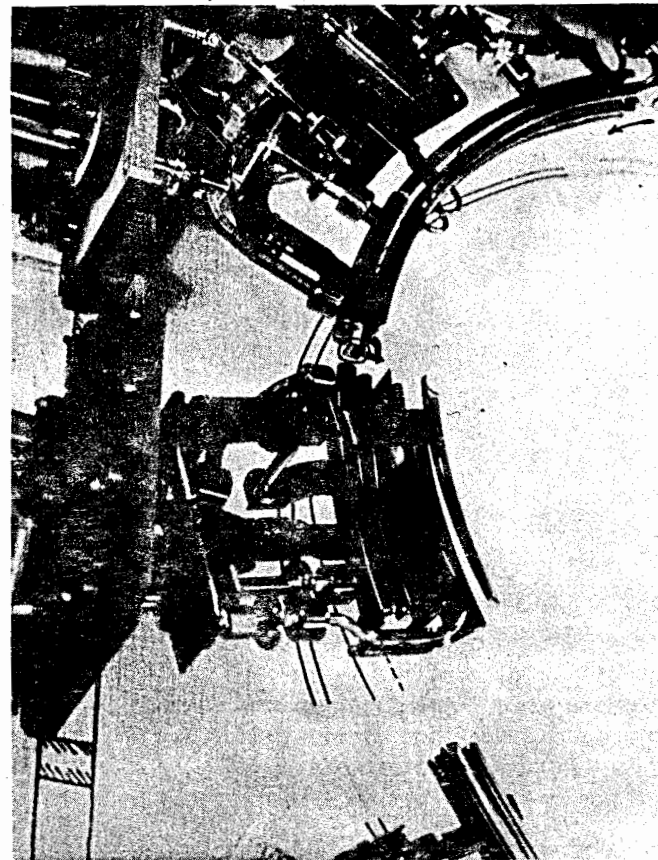


Рис. 11

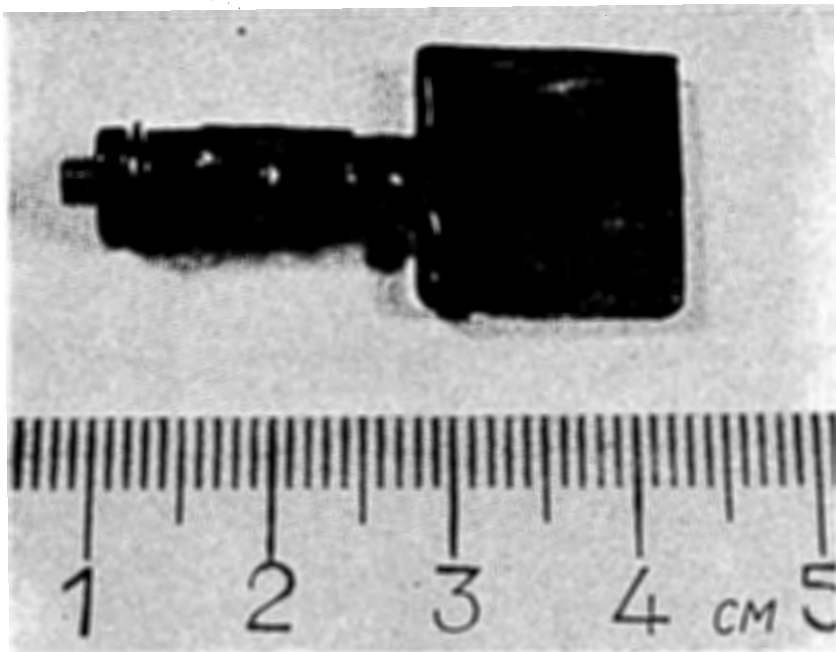


Рис.12

Основные результаты изложенных в диссертации работ сводятся к следующему:

1. Проведен анализ существующих систем вывода пучка из циклотронов. Сделано сопоставление их возможностей с требованиями к выводной системе изохронного циклотрона У-120М. На основании проведенного анализа предложена схема реализации выводного устройства У-120М.

2. Сделан обзор существующих систем внешней инжекции, применимых для циклотрона У-120М. В качестве наиболее эффективной выбрана аксиальная инжекция ионов со спиральным инфлектором в центре ускорителя.

3. В результате аналитического рассмотрения предложена конкретная система возбуждения когерентных колебаний ускоренного пучка электростатическими полями, реализуемыми с помощью двух элементов - "возбудителя" и "компенсатора".

4. Выполнено численное моделирование на ЭВМ процесса воз-

буждения когерентных колебаний пучка предложенной системой электростатических полей. В результате исследован ряд свойств системы и получены параметры возбуждаемого пучка.

5. С помощью численных расчетов на ЭВМ определены электрические и механические параметры отклоняющей системы, а также оптические свойства отклоненного пучка вдоль трассы вывода.

6. Проведены аналитические исследования спирального электростатического квадрупольного поля, который предлагается применить в качестве системы транспортировки аксиального инжектора. Проведен контрольный расчет на ЭВМ оптических свойств предложенной системы.

7. Проведен численный расчет параметров всей системы инжекции, в том числе и введенных в нее согласующих элементов. Главное требование, которое при расчете предъявлялось к системе, - провести инжектируемый пучок в медианную плоскость ускорительной камеры без потерь, с возможно максимальным эмиттансом.

8. Разработаны два метода расчетного определения формы электродов, создающих электрическое поле с заданными параметрами. Составлена программа для реализации обоих методов на малой ЭВМ "Наири-2" с непосредственным построением конфигурации эквипотенциалей на графопостроителе.

9. Выведена серия формул для численного интегрирования уравнений движения, дающая достаточно высокую скорость вычислений в поле циклотронов типа У-120М. Создана система модульных подпрограмм "КАТКА" для моделирования динамики движения частиц в ускорителе. Подпрограммы написаны на языке Церн-Фортран и применялись на ЭВМ БЭСМ-6.

10. Экспериментально по пучку проверена работа системы возбуждения когерентных радиальных колебаний и оценена эффективность вывода возбужденного пучка I-й секцией дефлектора. Несмотря на присутствие I-й гармоники магнитного поля, можно считать хорошим совпадением полученных результатов с ожидаемым эффектом.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах /i-7/ докладывались на II, III, IV Рабочих совещаниях ОИЯИ по изохронному циклотрону У-120М, на 6-й международной конференции по изохронным циклотронам в Ванкувере (1972г.), а также на V Всесоюзном совещании по ускорителям заряженных частиц в Дубне (1975г.).

Литература

1. В.П.Дмитриевский, В.В.Кольга, Н.И.Полумордвинова, З.Трейбал. Материалы II рабочего совещания по изохронному циклотрону У-120М, Р9-6241, Дубна, 1972, стр.118.
2. Там же, стр.105.
3. В.П.Дмитриевский, В.В.Кольга, Н.И.Полумордвинова, З.Трейбал. Материалы III совещания по изохронному циклотрону У-120М, Р9-7339, Дубна, 1973, стр.93.
4. Там же, стр.102.
5. M.Kuzniak, ..., Z.Trejbal et al. Cyclotron-1972, American Institute of Physics, New York, 1972, p.308.
6. V.P.Dmitrievsky, V.V.Kolga, Z.Trejbal. Nuclear Instruments and Methods, 123, 189, (1975) ; Препринт ОИЯИ, Д9-8076, Дубна, 1974.
7. Ю.Г.Аленицкий, ..., З.Трейбал и др. Сообщение ОИЯИ, Р9-10382, Дубна, 1977.

Рукопись поступила в издательский отдел
18 января 1977 года