

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



18/10-74

P9 - 10306

СЗ45е3

A-954

1430/2-74

В.В.Ахманов, Н.Л.Заплатин, А.Ф.Чеснов

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СЕКЦИЯ КАНАЛА
В СИСТЕМЕ ВЫВОДА ПУЧКА
ИЗ ИЗОХРОННОГО ЦИКЛОТРОНА

1976

P9 - 10306

В.В.Ахманов, Н.Л.Заплатин, А.Ф.Чеснов

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СЕКЦИЯ КАНАЛА
В СИСТЕМЕ ВЫВОДА ПУЧКА
ИЗ ИЗОХРОННОГО ЦИКЛОТРОНА



Электромагнитная секция канала в системе вывода пучка
из изохронного циклотрона

В системе отклонения пучка из изохронного циклотрона У-120М используется электростатический дефлектор. В данной работе показана возможность замены двух последних секций дефлектора электромагнитной секцией и ферромагнитным фокусирующим устройством. Приведены основные результаты расчета и моделирования электромагнитной секции канала с радиационностойкой изоляцией в виде пленки из окиси алюминия.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований
Дубна 1976

Achmanov V.V., Zaplatin N.L.,
Chesnov A.F.

P9 - 10306

Electromagnetic Section of the Channel at the
System of the Beam Extraction from the
Isochronous Cyclotron

The electromagnetic deflector is used at the system of the beam deflection from the isochronous cyclotron Y-120M. The possibility of substitution of the electromagnetic section and ferromagnetic device for the two last deflector sections is shown. We present the basic results of calculation and modeling of the electromagnetic section of the channel covered by radiation-resistant layer made of alumina.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research
Dubna 1976

© 1976 Объединенный институт ядерных исследований Дубна

Для вывода пучка из изохронного циклотрона У-120М^{/1/} с энергией протонов до 40 МэВ используется электростатический дефлектор, состоящий из трех секций общей азимутальной протяженностью $\alpha = 132^\circ$. В данной системе отклонения пучка две последние секции дефлектора могут быть заменены эквивалентно действующими электромагнитной секцией^{/2/} и ферромагнитным фокусирующим устройством, расположение которых в камере ускорителя показано на рис. 1. В данной схеме первоначальное отклонение пучка осуществляется электростатическим дефлектором азимутальной протяженностью 58° , с напряженностью электрического поля ~ 84 кВ/см, обеспечивающего разделение орбит на выходе ~ 2 см. Электромагнитная секция, расположенная в зазоре между спиральными шиммами $/\delta = 8,8 \div 11,2$ см/, где уровень магнитного поля меняется для заданных режимов работы в пределах $8 \div 17$ кГс, обеспечивает дополнительное отклонение пучка с фокусировкой его в радиальном направлении. Фокусирующее устройство, установленное в зоне, где магнитное поле не превышает ~ 10 кГс, компенсирует радиально-дефокусирующий градиент спадающего магнитного поля ускорителя. Кроме того, с помощью фокусирующего устройства можно регулировать положение пучка на входе в систему транспортировки за счет перемещения его в радиальном направлении.

На рис. 1 приведена траектория выведенного протонного пучка с начальными условиями $r = 51,9$ см, $r' = 1,3$ см/рад и $W = 39$ МэВ для выбранных параметров электромагнитной секции $/\Delta H = 3170$ Э; $d\Delta H/dr = 160$ Э/см/ и фокусирующего устройства $/d\Delta H/dr =$

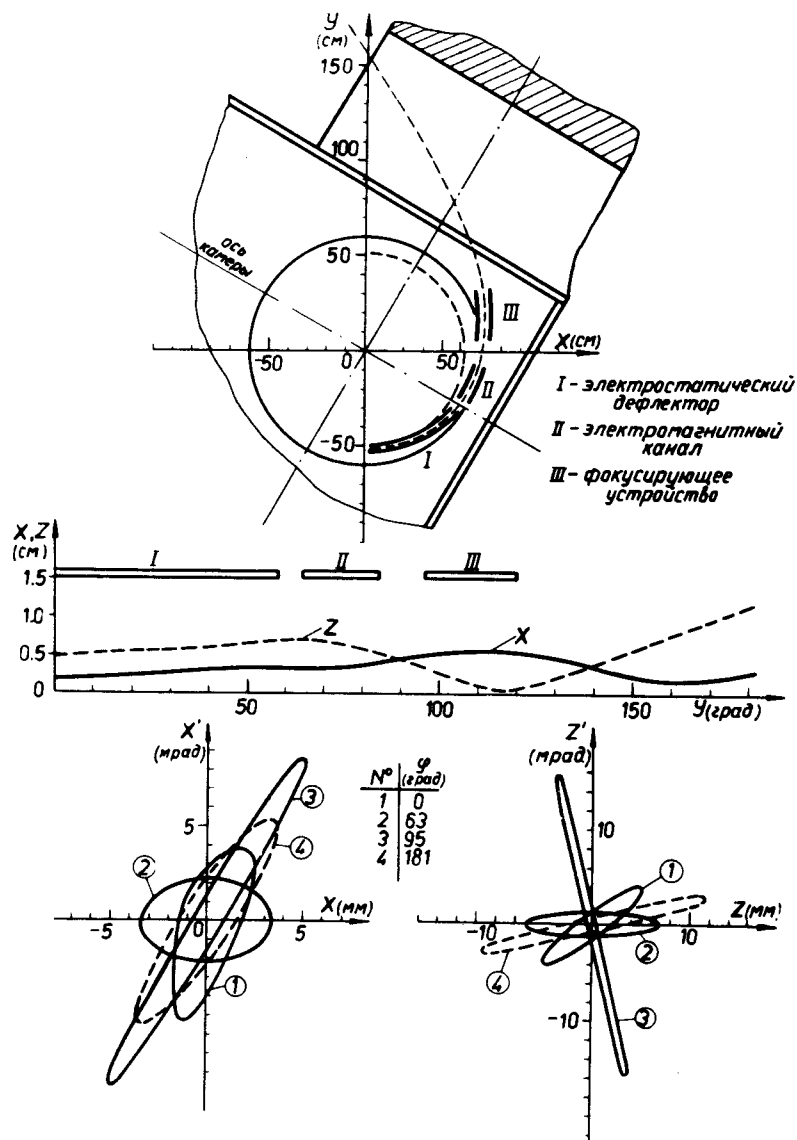


Рис. 1. Расположение элементов комбинированного дефлектора в камере ускорителя и характеристики пучка вдоль выводной траектории.

= 1400 Э/см/. Здесь же показаны изменения радиально-го $\epsilon_r = 8 \pi \text{ мм мрад/}$ и аксиального $\epsilon_z = 7 \pi \text{ мм мрад/}$ эмиттансов^{/3/} для ряда характерных азимутов вдоль выводной траектории, а также огибающие пучка.

Видно, что данная система обеспечивает отклонение пучка в нужном направлении с незначительным увеличением его размеров и угловой расходимости.

Электромагнитная секция состоит из двух ферромагнитных пластин, одна из которых является подвижной в радиальном направлении; токового септума и антисептума. Ослабление магнитного поля внутри секции создается с помощью ферромагнитных пластин и токовых элементов, причем, меняя расположение антисептума, можно скорректировать полученный градиент поля. Параметры секции /рис. 2/ были найдены расчетным путем с помощью программ, описанных в работе /4/. Изменение величины ослабления магнитного поля внутри секции канала в требуемом диапазоне $\Delta H = /1400 \div 3170/ \text{ Э}$ осуществляется за счет перемещения подвижной ферромагнитной пластины в радиальном направлении от центра ускорителя на $\Delta r = 5,7 \text{ см}$ с соответствующим изменением тока $I W = /6400 \div 12700/ \text{ Ав}$. При этом, как видно из рис. 2, величина радиально-фокусирующего градиента поля в канале находится в пределах $\sim /160 \div 300/ \text{ Э/см}$, а возмущение магнитного поля и его градиент в области циркулирующего пучка / $Y = 2,5 \text{ см/}$ не превышают величины $\Delta H = 6 \text{ Э}$ и $d\Delta H/dr \approx 3 \text{ Э/см}$, соответственно.

На этом же рисунке приведено распределение напряженности магнитного поля вдоль секции канала при токе $I W = 12700 \text{ Ав}$.

На основании расчетных данных была изготовлена прямолинейная модель электромагнитной секции в масштабе 1:1, которая показана на рис. 3. Токовые элементы модели канала выполнены в виде двух независимо охлаждаемых катушек /по 4 витка в каждой/, соединенных последовательно по току и расположенных симметрично относительно средней плоскости. Катушки выполнены из алюминиевой /марки АМЦ/ трубки $\phi 0,6 \times 0,1 \text{ см}$.

Механическая прочность и заданное положение токовых элементов достигается за счет размещения провод-

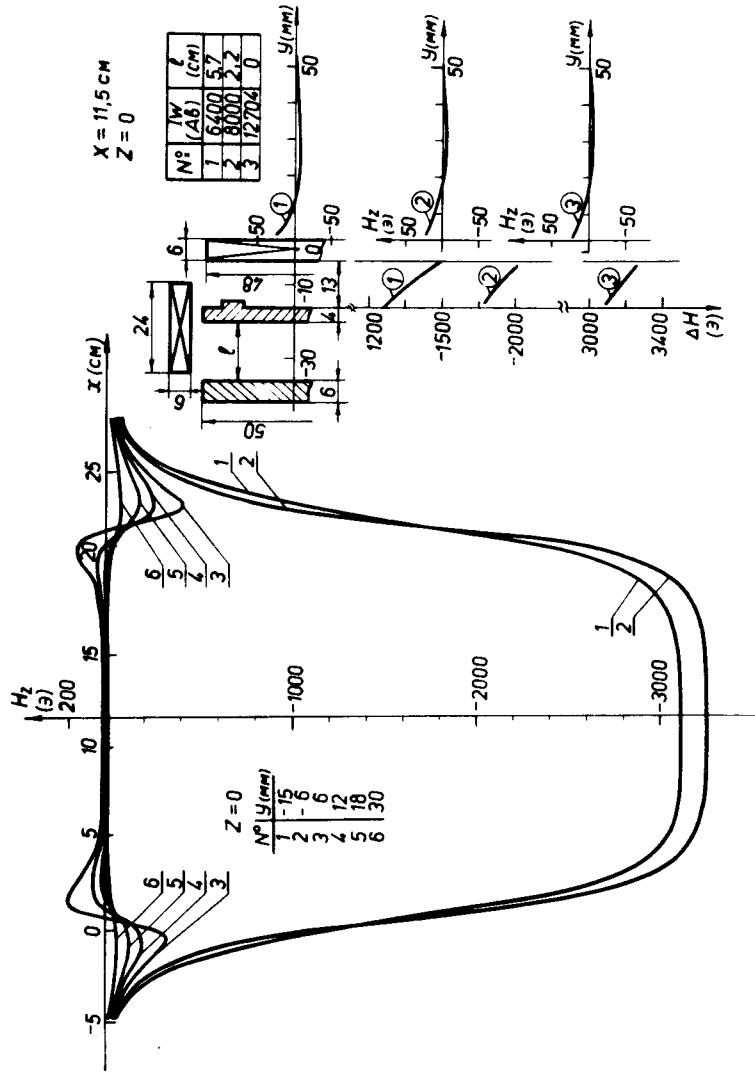


Рис. 2. Распределение напряженности магнитного поля вдоль длины и в среднем сечении электромагнитной секции канала.

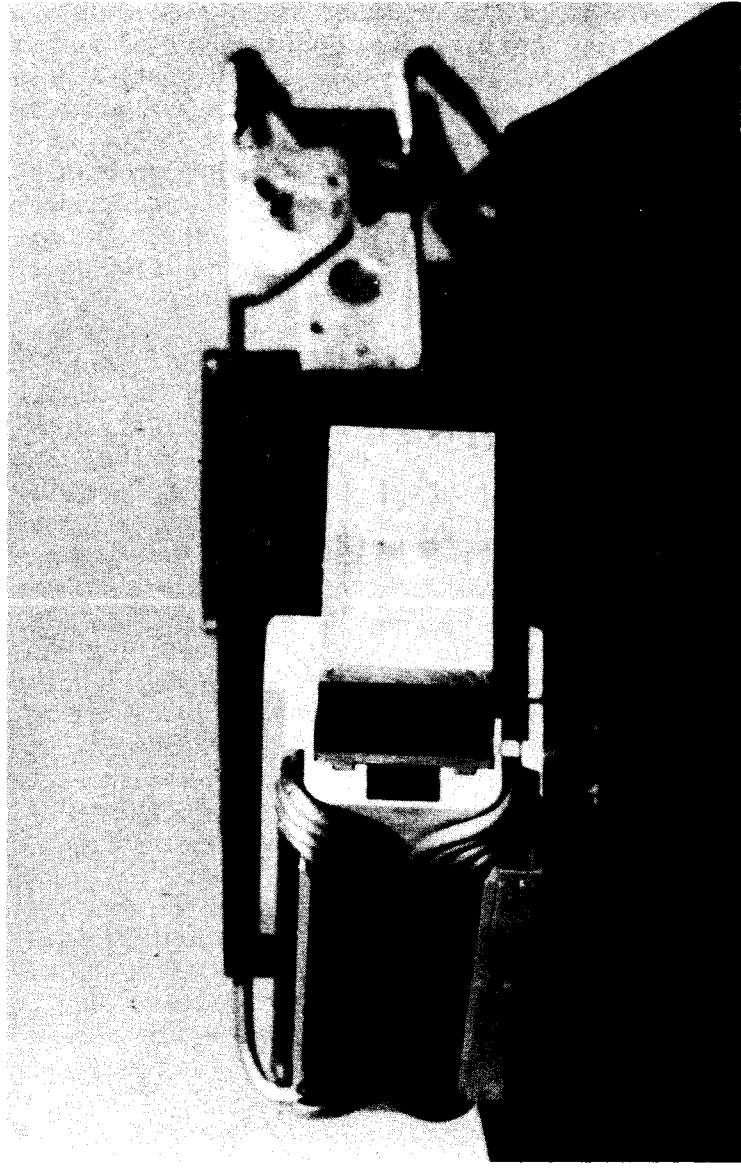


Рис. 3. Модель электромагнитного канала.

ников катушек в пазах основания, изготовленного из алюминия. Выбор алюминия в качестве материала для токовых элементов и соприкасающихся с ним конструктивных деталей объясняется возможностью получения неорганической радиационно-стойкой изоляции в виде пленки из окиси алюминия. Кроме того, мощность дозы гамма-излучения при рассеянии пучка на элементах ускорителя, выполненных из алюминия, $5 \cdot 10^2 \text{ P. ч}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{мкА}^{-1}$ на расстоянии 1 см после длительного облучения протонами с $\psi = 41 \text{ МэВ}^{5/}$ на порядок меньше, чем для меди. Оксидная пленка была получена методом электрохимического оксидирования /анодирования/. Анодирование деталей канала проводилось в электролите /6/, содержащем 15% серной и 2% щавелевой кислоты /по весу/, при температуре 8°C и плотности тока $0,03 \text{ А/см}^2$ в течение 60 мин. Перед анодированием катушки были полностью намотаны /оксидная пленка непластична/, с поверхности трубок были убраны механические дефекты и замаскированы площади, предназначенные для электрических контактов. Детали обезжигивались моющим раствором, затем для удаления вкраплений инородных материалов с поверхности снимался слой 50-100 мкм в растворе щелочи. Пленка осадка, остающаяся на материале после травления, убиралась в серно-хромистом деокислительном растворе, а затем проводилось анодирование в ванне с раствором серной и щавелевой кислоты. В процессе анодирования электролит интенсивно перемешивался для предотвращения локальных перегревов поверхности анодируемой детали и получения однородного покрытия.

Электрические испытания образцов из анодированной алюминиевой трубки и листового алюминия марки АМЦ показали, что пробойное напряжение находится в пределах 250-500 В. Из работ /7,8/ следует, что этому напряжению соответствует толщина оксидной пленки $\sim 30 \div 50 \text{ мкм}$ с величиной удельного сопротивления $\sim 1 \cdot 10^{15} \text{ Ом} \cdot \text{см}$. Эта величина сравнима с удельным сопротивлением стекла, фарфора, твердой резины и слюды $\sim 1 \cdot 10^{13}; 1 \cdot 10^{14}; 1 \cdot 10^{15}; 5 \cdot 10^{16} \text{ Ом} \cdot \text{см/}$.

Из электрических и тепловых испытаний модели электромагнитной секции канала было определено, что

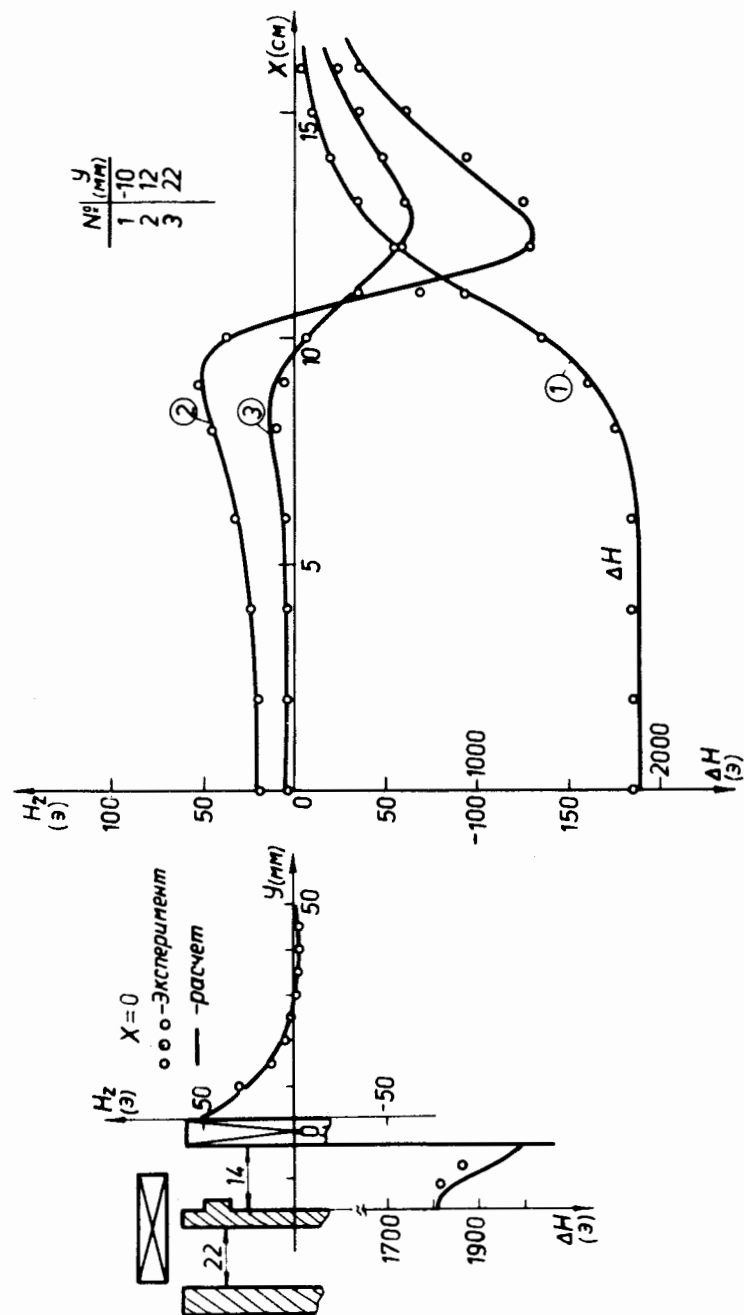


Рис. 4. Распределение напряженности магнитного поля в среднем сечении и вдоль длины модели электромагнитной секции.

при максимальном рабочем токе $I = 1590 \text{ А} / j = 100 \text{ А/мм}^2$ потребляемая мощность равна $\sim 30 \text{ кВт}$; перегрев охлаждающей воды составляет 50°С при входном давлении воды $4,5 \text{ кг/см}^2$.

Измерения напряженности магнитного поля модели секции проводились в зазоре электромагнита / $\phi = 115 \text{ см}$, $\delta = 11 \text{ см}$ / холловскими магнитометрами с точностью $\Delta H/H \approx 1 \times 10^{-2}$ внутри и $\Delta H/H \approx 1 \times 10^{-3}$ вне секции канала. Эксперимент выполнялся при индукции внешнего поля $B = 11,6 \text{ кГс}$, что соответствует величине поля на конечном радиусе для энергии протонов $\sim 17 \text{ МэВ}$.

Результаты экспериментального моделирования модели канала при токе $I_w = 8000 \text{ А}$ приведены на рис. 4. Видно, что величины неотшуммированного поля и его градиента для среднего поперечного сечения модели в области циркулирующего пучка соответственно равны

$$\Delta H \approx 7 \text{ Э} \text{ и } \frac{d\Delta H}{dy} \approx 5 \text{ Э/см} / y = 2,5 \text{ см/}$$

и хорошо согласуются с расчетом. Измерения поля в области шуммирования вдоль длины модели показали, что на входе имеются возмущения поля общей протяженностью $\sim 9 \text{ см}$ с максимальной амплитудой $\sim 130 \text{ Э}$ на расстоянии $y = 1,2 \text{ см}$ от септума, вызванные несоответствием кривых спада полей ферромагнитных пластин и токовых элементов. С удалением от септума величина и протяженность этого возмущения уменьшаются и на расстоянии $y = 2,2 \text{ см}$ /область циркулирующего пучка $y = 2,5 \text{ см}$ / равны $\sim 60 \text{ Э}$ и $\sim 7 \text{ см}$, что соответствует величине первой гармоники менее 1 Э .

На основании расчета магнитного поля элементов отклоняющей системы из изохронного циклотрона У-120М, а также моделирования электромагнитной секции канала получены следующие результаты:

1/ определены все необходимые параметры электромагнитной секции канала и фокусирующего устройства, при которых обеспечивается отклонение ускоряемых частиц в нужном направлении для заданного диапазона изменения энергии;

2/ показано хорошее совпадение расчетных и экспериментальных распределений магнитных полей модели электромагнитной секции канала;

3/ определены технические и эксплуатационные характеристики секции.

Литература

1. Ю.Г.Аленицкий, А.А.Глазов и др. ОИЯИ, 9-5292, Дубна, 1970.
2. Ю.Г.Аленицкий, Н.Л.Заплатин, А.Ф.Чеснов. ОИЯИ, Р9-6241, Дубна, 1972, с.123.
3. В.П.Дмитриевский, В.В.Кольга, Н.И.Полумордвинова, З.Трейбал. ОИЯИ, Р9-7339, Дубна, 1973, с. 102.
4. Н.Л.Заплатин, Е.В.Самсонов, А.Ф.Чеснов. ОИЯИ, Р9-9023, Дубна, 1975.
5. Л.Юнг. Анодные оксидные пленки. Л., "Энергия", 1967.
6. Л.Г.Бескровная, М.М.Комочков, Ю.Г.Тетерев. ОИЯИ, Р9-7339, Дубна, 1973, с. 281.
7. M.M.Holland, J.Shill. IEEE Trans. on Nucl. Sci., V-NS-20, No. 3, 1973.
8. I.Collins. Electrical Manufacturing, v. 63, 1959, p. 161-163.

Рукопись поступила в издательский отдел
16 декабря 1976 года.