

С3450

3765/277

Г-943

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



19/ix-77

9- 10586

Г.Г.Гульбежян, Е.А.Минин, Р.Ц.Оганесян, Ю.Сура

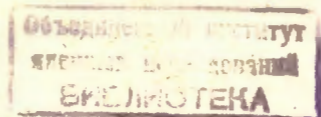
КОРРЕКТИРУЮЩИЕ МАГНИТЫ
В СИСТЕМЕ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПУЧКОВ
ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ ЦИКЛОТРОНА У-200 ОИЯИ

1977

9- 10586

Г.Г.Гульбекян, Е.А.Минин, Р.Ц.Оганесян, Ю.Сура

КОРРЕКТИРУЮЩИЕ МАГНИТЫ
В СИСТЕМЕ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПУЧКОВ
ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ ЦИКЛОТРОНА У-200 ОИЯИ



Гульбеян Г.Г. и др.

9 - 10586

Корректирующие магниты в системе транспортировки пучков тяжелых ионов циклотрона У-200 ОИЯИ

В работе приведены результаты экспериментов по увеличению эффективности транспортировки пучков тяжелых ионов, выведенных из изохронного циклотрона У-200 ОИЯИ, с помощью системы статорных магнитов. Такие магниты способны вводить угловую коррекцию и параллельный перенос оси пучка относительно любой плоскости оси канала транспортировки. Эксперименты проводились с пучком ионов кислорода с конечной энергией 125 МэВ, выведенных из циклотрона методом обдирки на тонкой графитовой фольге. Средняя интенсивность выведенного пучка составляла 3 мкА. Физическая мишень, на которую происходила настройка пучка, имела сменные коллиматоры диаметром 9 и 6 мм. Показано, что с помощью статорных магнитов интенсивность пучка на мишени с коллиматорами указанных диаметров увеличена в 4-5 раз. Кроме коррекции существующих ошибок в каналах транспортировки пучка, использование статорных магнитов при настройке на удаленные мишени позволяет существенно снизить допуски на установку магнитооптических элементов.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

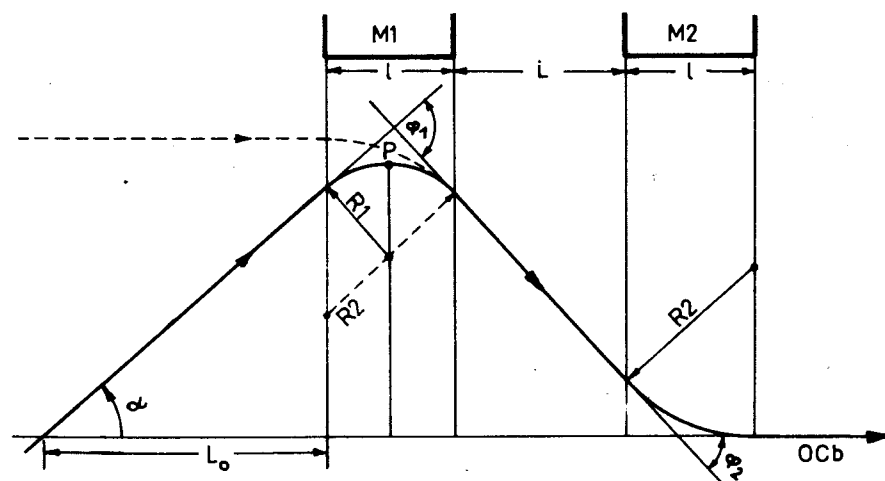


Рис. 1. Принципиальная схема работы корректирующих статорных магнитов M1 и M2. l - эффективная длина магнитов, L - расстояние между магнитами, α - угол отклонения оси пучка от оси оптического канала, R_1, R_2 - радиусы отклонения магнитов, p - максимальное смещение оси пучка от оси канала или параллельный сдвиг оси пучка [пунктирная линия], ϕ_1, ϕ_2 - углы поворота магнитов.

ется первым магнитом M_1 на угол ϕ_1 в направлении оси канала. Второй магнит с обратной полярностью отклоняет ось пучка на угол ϕ_2 и наводит ее на ось канала. Геометрические соображения приводят к очевидному условию коррекции

$$\phi_1 - \phi_2 = \alpha$$

и к следующим расчетным соотношениям:

$$\frac{\ell}{R_1} = \sin \alpha + \sin(\phi_1 - \alpha),$$

$$\frac{\ell}{R_2} = \sin \phi_2,$$

$$p = L \cdot \operatorname{tg} \alpha + R_1 (1 - \cos \alpha).$$

Учитывая тот факт, что магниты должны вводить малые коррекции, не превышающие 1° , можно заменить тригонометрические функции углами. Переходя одновременно к величинам поля в рабочем зазоре магнитов, используя соотношение

$$B_1 R_1 = B_2 R_2 = (BR)_c,$$

где $(BR)_c$ - максимальная величина BR для выведенного пучка, получаем окончательные расчетные формулы для требуемых величин поля в обоих магнитах:

$$B_1 = \frac{(BR)_c}{\ell} \left(\alpha + \frac{p}{L} \right),$$

$$B_2 = \frac{(BR)_c}{\ell} \frac{p}{L}.$$

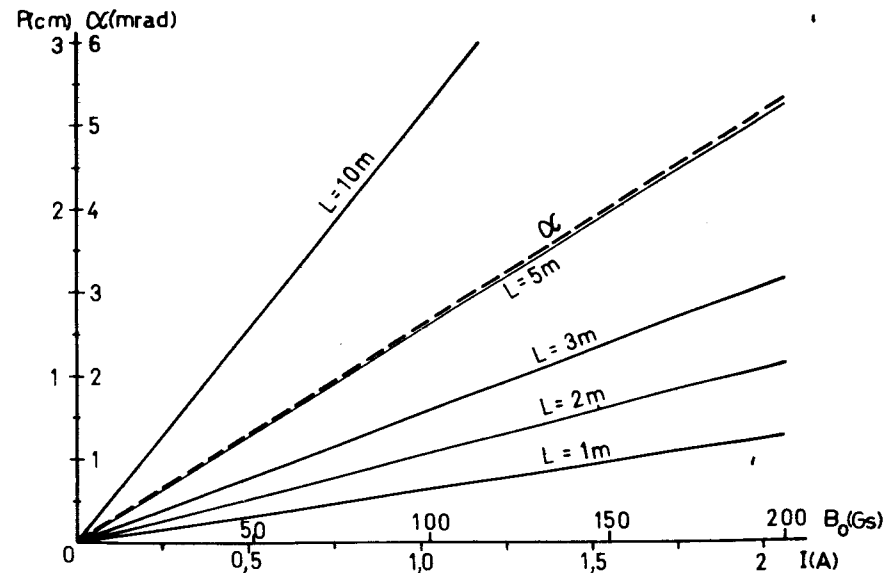


Рис. 2. Зависимость величины поля в магнитах M_1 и M_2 от угла α , параллельного смещения p и расстояния между магнитами L при $\ell = 0,24$ м, магнитной жесткости частиц $(BR)_c = 0,9$ Т·м. Пунктирной линией показан вариант только угловой коррекции ($p = 0$).

На рис. 2 даются зависимости полей B_1 и B_2 / B_1 всегда больше $B_2 /$ от угла α , величины смещения p и расстояния между магнитами L для $\ell = 0,24$ м и $(BR)_c = 0,9$ Т·м. Видно, что при поле 200 Гс и величине L от 1 до 5 м угловая коррекция α может составлять 5 мрад, а параллельное смещение - до 2,5 см. Эти величины заведомо превышают требуемые, поэтому расчет отдельного магнита проведем исходя из размеров существующих стандартных статоров электродвигателей и реального числа ампер-витков IN , которые могут быть размещены в пазах статора. Нами были выбраны статоры от двух трехфазных асинхронных электродвигателей марки АО 51/4А мощностью 5 кВт, числом пазов $N=36$ и внутренним диаметром $D=15$ см. Обмотки статоров изготавливались из медного провода с эмалевой

изоляцией диаметром $\phi = 0,8$ мм. Каждая обмотка питается от источника постоянного тока с $I_{\text{макс}} = 2$ А и $U = 60$ В. Выбранный провод и источники питания позволяют получить число ампер-витков одной обмотки $IN = 2320$, которые могут быть реализованы без применения принудительного охлаждения. Витки распределяются в пазах по косинусоидальному закону /рис.3/

$$N_i = N_0 \cos \theta_i,$$

где N_0 определяется общим числом витков в данной обмотке N и числом пазов N_n :

$$N_0 = \frac{\pi N}{N_n} = 101,23.$$

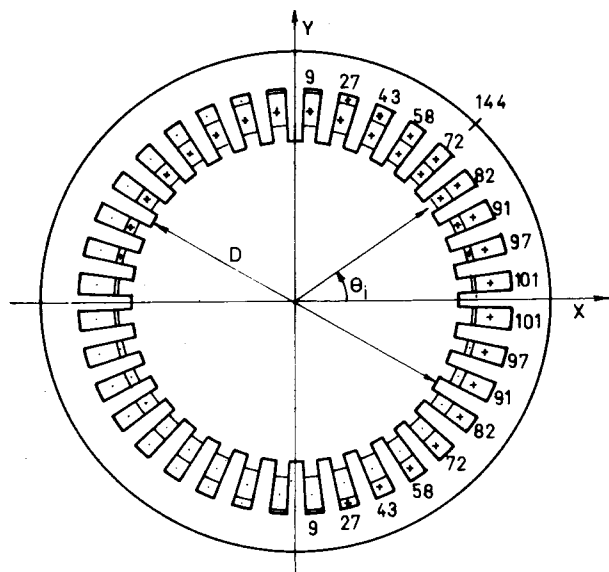


Рис. 3. Схематическое изображение статорного магнита с 36 пазами. Общее число витков в каждой из двух взаимно перпендикулярных обмоток равно $N = 1160$. Цифрами обозначено число витков в пазах обмотки Y. Распределение витков в обмотке X аналогично распределению в обмотке Y, но сдвинуто по отношению к нему на угол 90° .

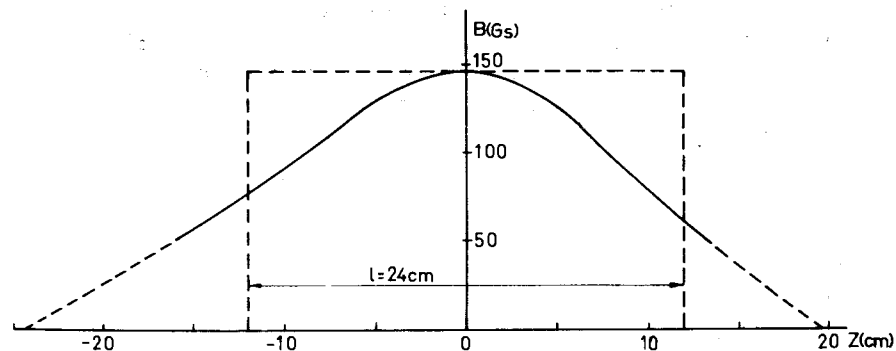


Рис. 4. Распределение магнитного поля вдоль оси статора при одной включенной обмотке и токе 1,5 А.

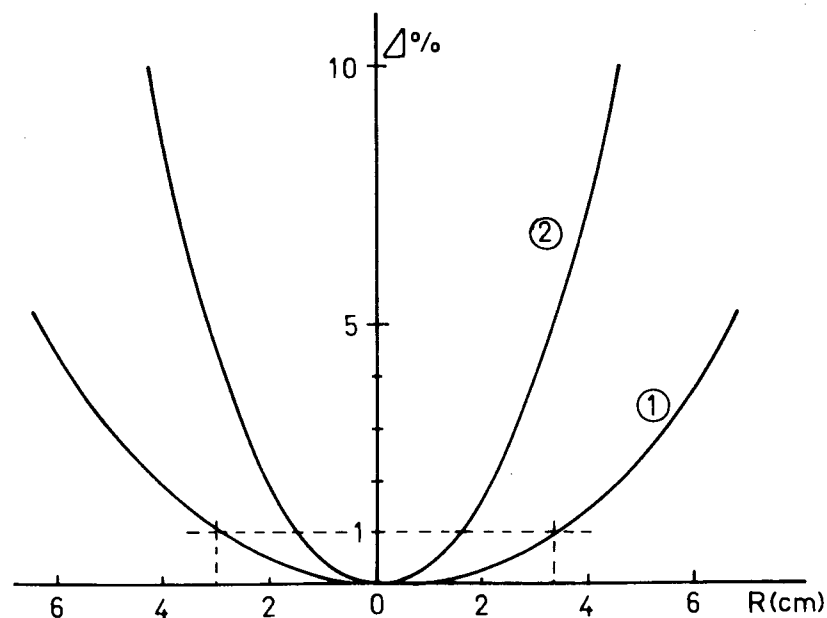


Рис. 5. Измеренное распределение поля в центре зазора статорных магнитов в поперечном /кривая 1/ и продольном /кривая 2/ направлениях.

Угол θ_i изменяется на 10° , начиная с $\theta_0 = 5^\circ$. Наибольшее заполнение пазов происходит при углах $45^\circ, 135^\circ, 225^\circ, 315^\circ$, тогда число витков обеих обмоток равно $\sqrt{2}N_0 = 144$. Величина экспериментально полученного максимального поля в центре статора совпадает с расчетной ^{/1/}

$$B = \frac{0,4\pi IN}{D} = 194 \text{ Гс.}$$

На рис. 4 показано измеренное распределение поля вдоль оси статорного магнита. Колоколообразное распределение поля связано с тем, что для выбранных статоров отношение внутреннего диаметра статора к длине железного сердечника достаточно велико ^{/-1/}. На рис. 5 приведено измеренное распределение магнитного поля

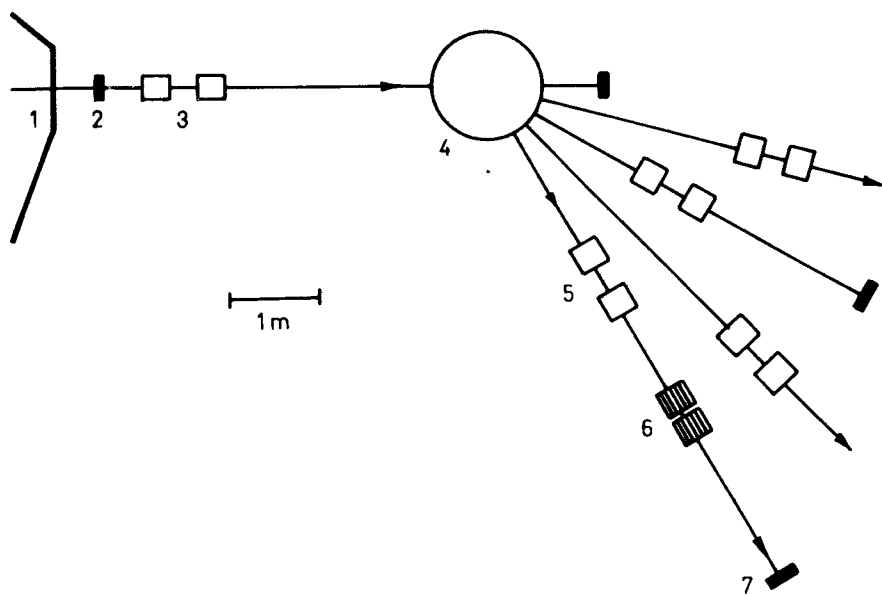


Рис. 6. Схематическое изображение магнитооптических элементов, установленных на 60° -ном канале системы транспортировки пучка циклотрона У-200. 1 - камера циклотрона, 2 и 7 - посты индикации пучка, 3 и 5 - квадрупольные дублеты, 4 - коммутирующий магнит, 6 - статорные магниты.

в центре зазора статорных магнитов. Видно, что в рабочей области $\pm 2-3$ см неоднородность поля не превышает 3% в обоих взаимно перпендикулярных направлениях.

Статорные магниты после их изготовления и проведения необходимых измерений были установлены на 60° -ном канале системы транспортировки пучка изохронного циклотрона У-200. В нашем случае для возможности относительно большой коррекции углового отклонения пучка от оси ионопровода в двух плоскостях магниты были установлены друг за другом и их обмотки соединены последовательно. Эксперименты проводились

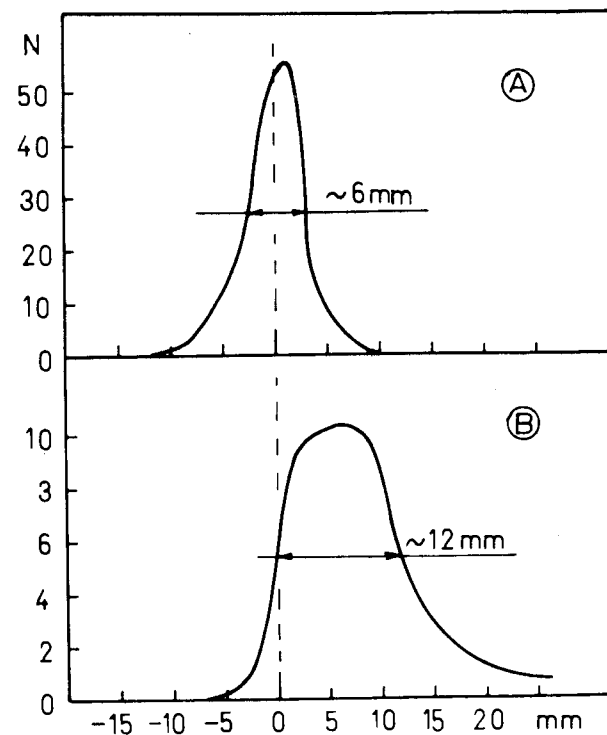


Рис. 7. Распределение плотности пучка по вертикали /А/ и горизонтали /В/ на физической мишени.



Рис. 8. Статорные магниты на 60° -ном канале системы транспортировки пучка циклотрона У-200.

с пучком ионов $^{18}\text{O}^{4+}$, ускоренных в циклотроне до конечной энергии $E = 125 \text{ МэВ}$. Пучок выводился из ускорителя методом обдирки на тонкой графитовой мишени толщиной $50\text{-}60 \text{ мкг/см}^2$ с эффективностью, близкой к 100%-ной. Средняя интенсивность выведенного пучка составляла 3 мкА . Расположение магнитов на канале пучка представлено на рис. 6. С целью проверки их воздействия на пучок токовый пробник 7 имел сменные коллиматоры диаметром 9 и 6 мм. Эффективность прохождения пучка по тракту ионопровода оценивалась по отношению интенсивностей на пробниках 2 и 7 при настройке по максимуму тока на пробник 7 с включенными и выключенными статорными магнитами. Визуальное наблюдение за пучком осуществлялось по люминофорам из BeO с помощью передвижной телевизионной установки. Эксперименты показали, что для коллиматоров диаметром 9 и 6 мм статорные магниты позволяют увеличить интенсивность пучка на физическую мишень в 4-5 раз.

Кроме коррекции существующих ошибок в каналах транспортировки пучка, использование магнитов статорного типа при настройке на различные физические мишени позволяет существенно снизить допуски на установку магнитооптических элементов. Следует также отметить, что при питании статорных магнитов от источника переменного тока с промышленной частотой 50 Гц возможно осуществлять сканирование пучка на мишени в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Это позволяет равномерно распределять плотность пучка при облучении мишеней большой площади.

В заключение авторы выражают искреннюю благодарность академику Г.Н.Флерову за постоянный интерес к работе, Б.Г.Виноградову за изготовление обмоток статоров, а также А.К.Евдокимову и В.Н.Мельникову за помощь в измерениях.

Литература

1. *Benaroya R., Ramler W.J. Nucl. Instr. and Meth., 1961, 10, 113-120.*
2. *Langenbeck B., Liesem H. In.: Proceedings Fifth Intern. Conf. on Magnet Techn. (MT-5), Roma (EUR), 411-413, 1975.*

Рукопись поступила в издательский отдел
14 апреля 1977 года.