

С345к

Ш-42

18/V-70

P9 - 5037

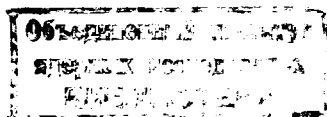
И.А. Шелаев, В.С. Алфеев, С.И. Козлов,  
В.М. Николаев, Р.Ц. Оганесян

ОПЫТЫ ПО ВЫВОДУ ПУЧКА  
ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ ДЕФЛЕКТОРОМ  
ИЗ ДВУХМЕТРОВОГО ИЗОХРОННОГО  
ЦИКЛОТРОНА ОИЯИ

P9 - 5037

И.А. Шелаев, В.С. Алфеев, С.И. Козлов,  
В.М. Николаев, Р.Ц. Оганесян

ОПЫТЫ ПО ВЫВОДУ ПУЧКА  
ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ ДЕФЛЕКТОРОМ  
ИЗ ДВУХМЕТРОВОГО ИЗОХРОННОГО  
ЦИКЛОТРОНА ОИЯИ



В предыдущей работе описан вывод пучка из двухметрового изохронного циклотрона тяжелых ионов ОИЯИ (У-200)<sup>/1/</sup> методом перезарядки<sup>/2/</sup> и показано, что в случае У-200 этим методом можно вывести ионы с отношением  $A/z \geq 3,8$  ( $A$  - масса,  $z$  - заряд иона). Вывод других ионов (на циклотроне У-200 ускоряются ионы с  $A/z \geq 2,8$ ) осуществлен комбинированной системой, состоящей из электростатического дефлектора и фокусирующего магнитного канала Данилова<sup>/3,4/</sup>.

Траектория выведенного пучка определялась интегрированием уравнений движения на ЭВМ с использованием результатов измерений магнитного поля ускорителя и электрического поля дефлектора, напряженность которого принималась постоянной по всей его длине. Рассчитывались различные варианты вывода ионов: с разными отношениями  $A/z$  при разных значениях выводного радиуса и местах установки дефлектора: в дуанте (1), в холме (3) (см. рис. 1).

### *Электростатический дефлектор*

Размещение дефлектора в холме, которое позволило бы уменьшить путь иона в поле рассеяния, затруднительно по конструктивным соображениям: зазор в холме составляет всего 3 см. Поэтому дефлектор расположен в долине - внутри южного дуанта. Радиус входа пучка в дефлектор выбран равным 88 см для исключения потерь, вызываемых ростом амплитуды радиальных колебаний при прохождении пучком резонанса  $\nu_r = 1$

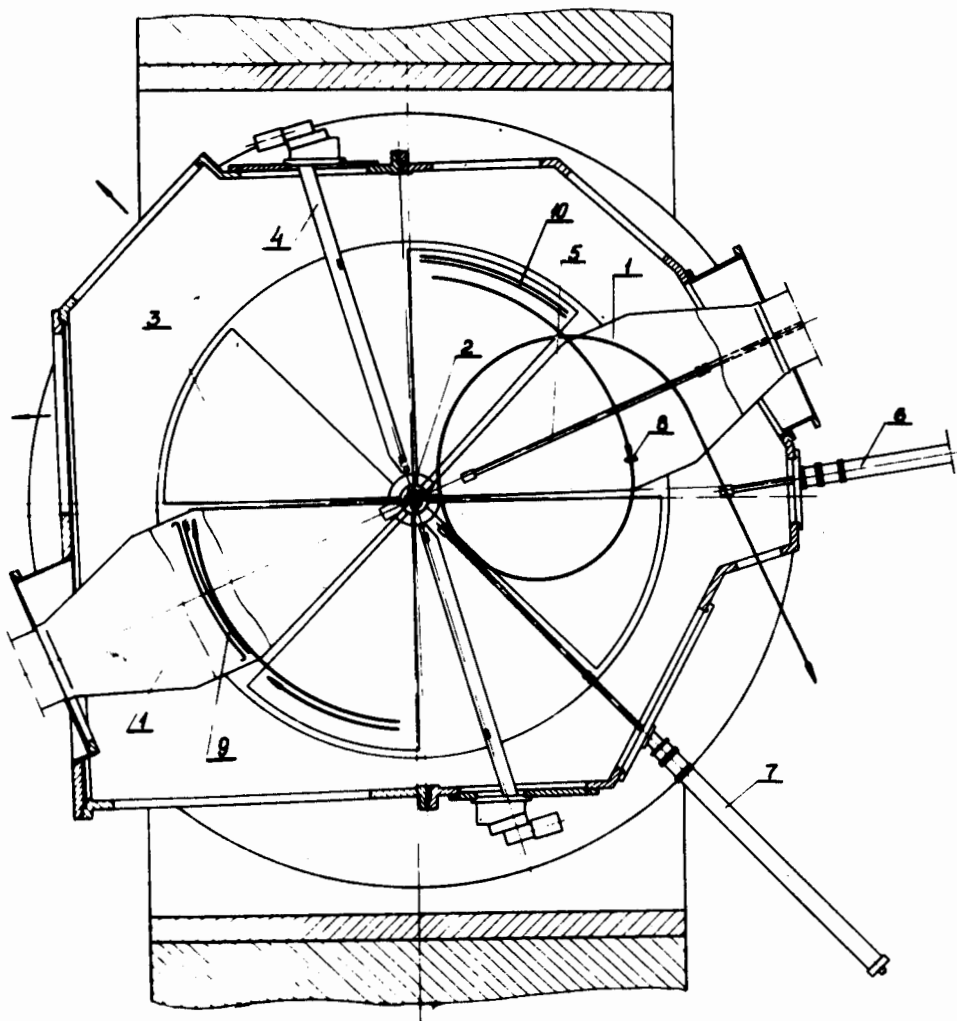


Рис. 1. Схематический план циклотрона. 1 - дуанты, 2 - ионный источник, 3 - секторы, 4,5,6,7 - токовые пробники, 8 - обдирочное устройство, 9 - электростатический дефлектор, 10 - магнитный канал.

(рис. 2). Благодаря малому среднему воздушному зазору радиус, на котором  $\nu_r = 1$ , находится сравнительно близко от радиуса, где величина

$Hr$  максимальна. Вследствие этого удается получить высокую эффективность использования  $Hr$  циклотрона (пучок ускоряется до  $Hr$ , равного 98% максимального) и одновременно снизить напряженность электрического поля дефлектора. Исходя из результатов измерений радиального размера пучка на конечных радиусах, радиальная апертура дефлектора выбрана равной 4 мм. Напряженность электрического поля дефлектора, необходимая для вывода ионов заданного диапазона энергий (10-20 Мэв/нукл.), составляет 50-100 кв/см, что сравнительно легко получить. Ввиду малой угловой протяженности ( $\approx 38^\circ$ ) пластины дефлектора в горизонтальной плоскости выполнены в виде дуг окружностей, согласно расчетам осевых траекторий пучка.

Пластины дефлектора в вертикальном направлении профилированы по всей длине, поэтому величина зазора на выходе также выбрана равной 4 мм. Гиперболическая форма профиля пластин уменьшает электрическое поле по радиусу и тем самым обеспечивает радиальную фокусировку пучка в дефлекторе/5/. Дефлектор заключен в каркас из нержавеющей стали толщиной 1 мм и его положение внутри дуанта регулируется без нарушения вакуума.

Пучок, отклоняясь в дефлекторе примерно на 2,2 см от равновесной орбиты, проходит затем путь длиной около 5 м в спадающем магнитном поле до входа в первую пару квадрупольных линз системы транспортировки внешнего пучка. Характеристики магнитного поля на траектории отклоненного пучка, полученные в результате расчетов на ЭВМ, показаны на рис. 3. Из рисунка видно, что на наиболее опасном участке траектории (холм 3) дефокусирующий градиент поля достигает величины  $2,0 + 2,5$  кэ/см.

### Магнитный канал

Для фокусировки пучка в рассеянном поле циклотрона применен магнитный канал, установленный в холме. Поле канала формируют железные прутки кругового сечения. Поле требуемого градиента рассчитывалось с использованием результатов работы/6/ и экспериментально определялось

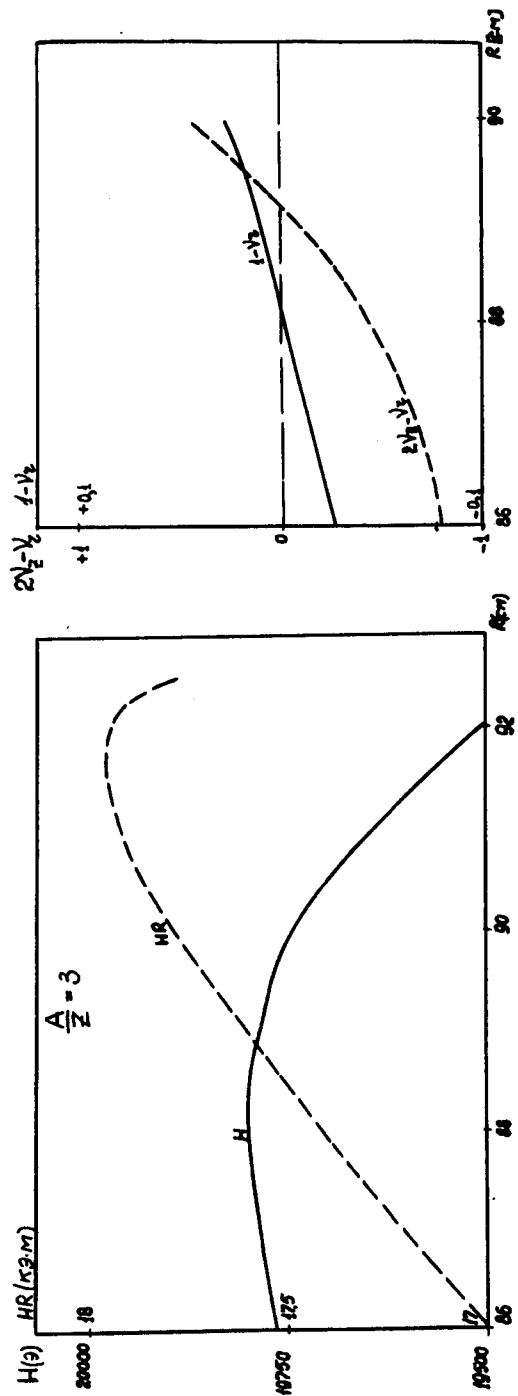


Рис. 2. Параметры магнитного поля в области конечного радиуса.

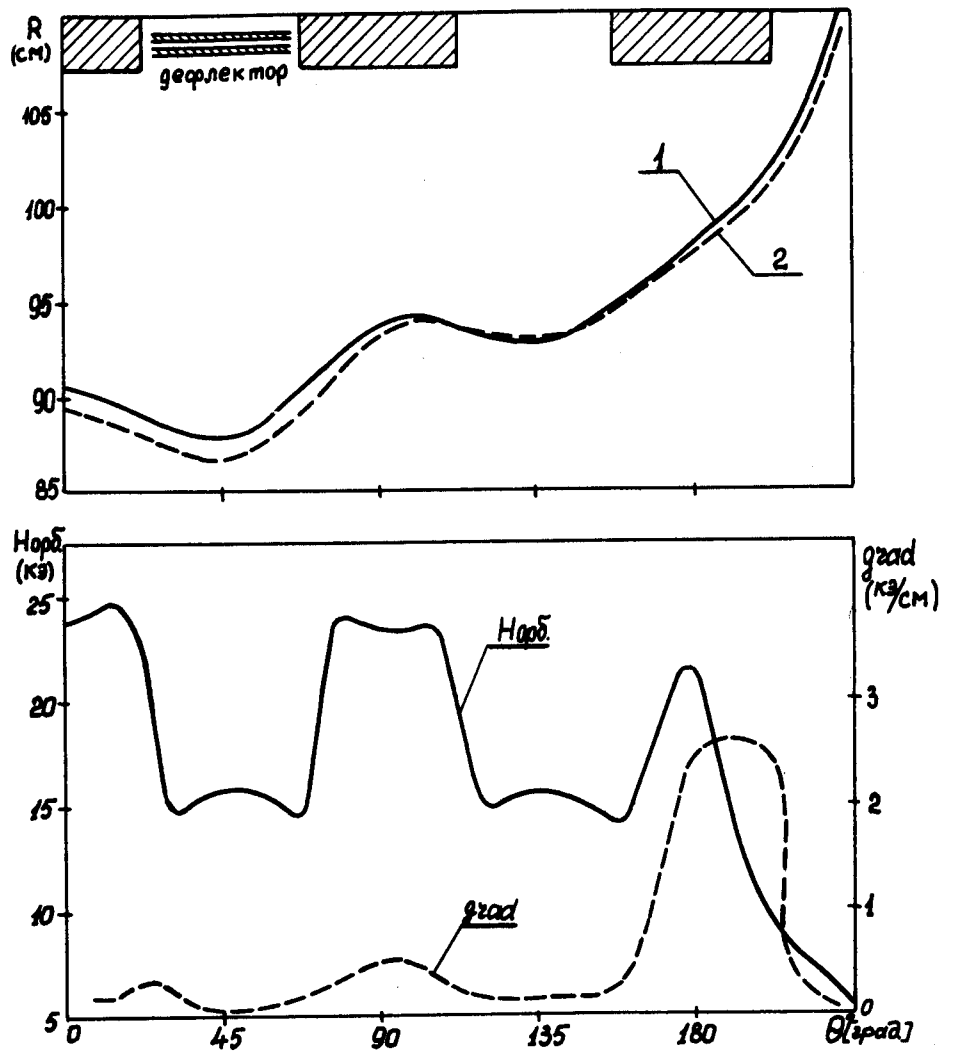


Рис. 3. Характеристики магнитного поля вдоль траектории выведенного пучка. Кривые 1,2 - траектории выведенного пучка с  $R_k = 88$  см и  $R_k = 88$  см соответственно.

на стенде магнитных измерений. Элементы канала моделировались в натуральную величину. Магнитное поле измерялось датчиком Холла; результаты измерений приведены на рис. 4. Измерения показывают, что выбранная геометрия канала обеспечивает необходимый градиент во всем диапазоне полей в холме. С использованием данных магнитных измерений расчетным путем определялась длина канала, которая обеспечивала слабо расходящийся пучок на входе в ионопровод. Было найдено, что угловая протяженность канала должна составить  $45^\circ$ . Апертура канала 10 x 14 мм. Шиммы канала закреплены в каркасе из нержавеющей стали (рис. 5). В медианной плоскости канал удерживается секторами, а радиальное положение канала регулируется двумя винтами без нарушения вакуума, что облегчает нацеливание выведенного пучка в ионопровод. Шиммы канала изогнуты по окружности, радиус которой равен среднему радиусу траектории пучка на участке канала. Измерения проводились при однородном внешнем поле, но в циклотроне намагничивающее поле неоднородно как по длине канала, так и по радиусу траектории пучка, поэтому окончательно длина и диаметр шимм подбирались экспериментально.

### *Опыты по выводу пучка*

Направление внутреннего пучка ионов в дефлектор корректировалось с помощью четырех пар азимутальных катушек. Отсекающий нож дефлектора, первоначально изготовленный из молибдена толщиной 0,2 мм, быстро выходил из строя (рис. 5). В дальнейшем был изготовлен отсекающий нож из меди толщиной 0,3 мм с улучшенным охлаждением, выдерживающий длительный режим работы. Испытания дефлектора показали, что он надежно работает при потенциале до 45 кв.

Для измерения интенсивности и положения отклоненного пучка ионов использовался ряд токовых пробников (4,5,6 на рис. 1). Для контроля прохождения пучка через магнитный канал на входе последнего установлены два графитовых коллектора. Высота каждого коллектора 20 мм, радиальная протяженность 15 мм, а расстояние между ними равно радиальной апертуре канала. Эксперименты показали, что эффективность про-

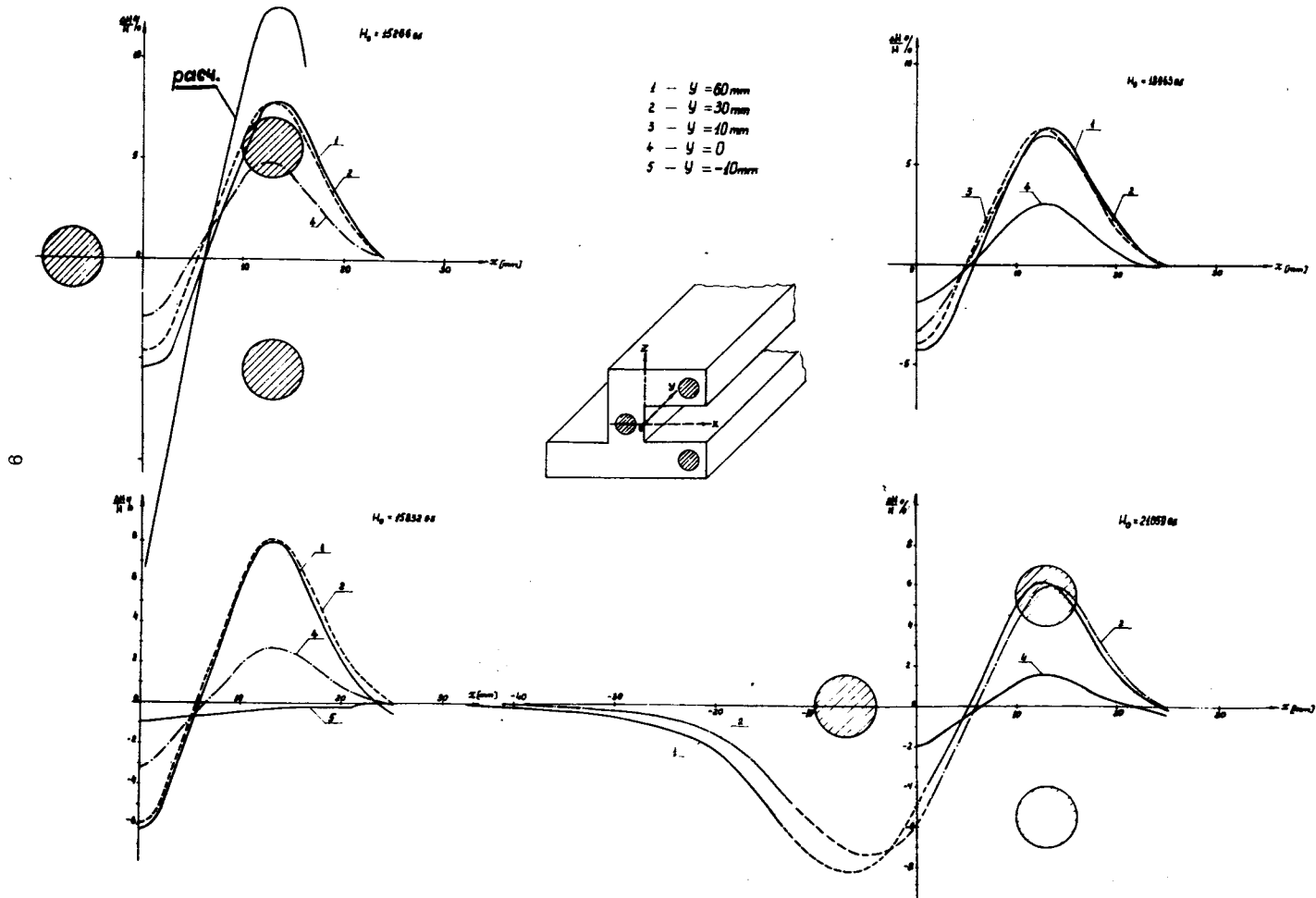


Рис. 4. Распределение поля магнитного канала.

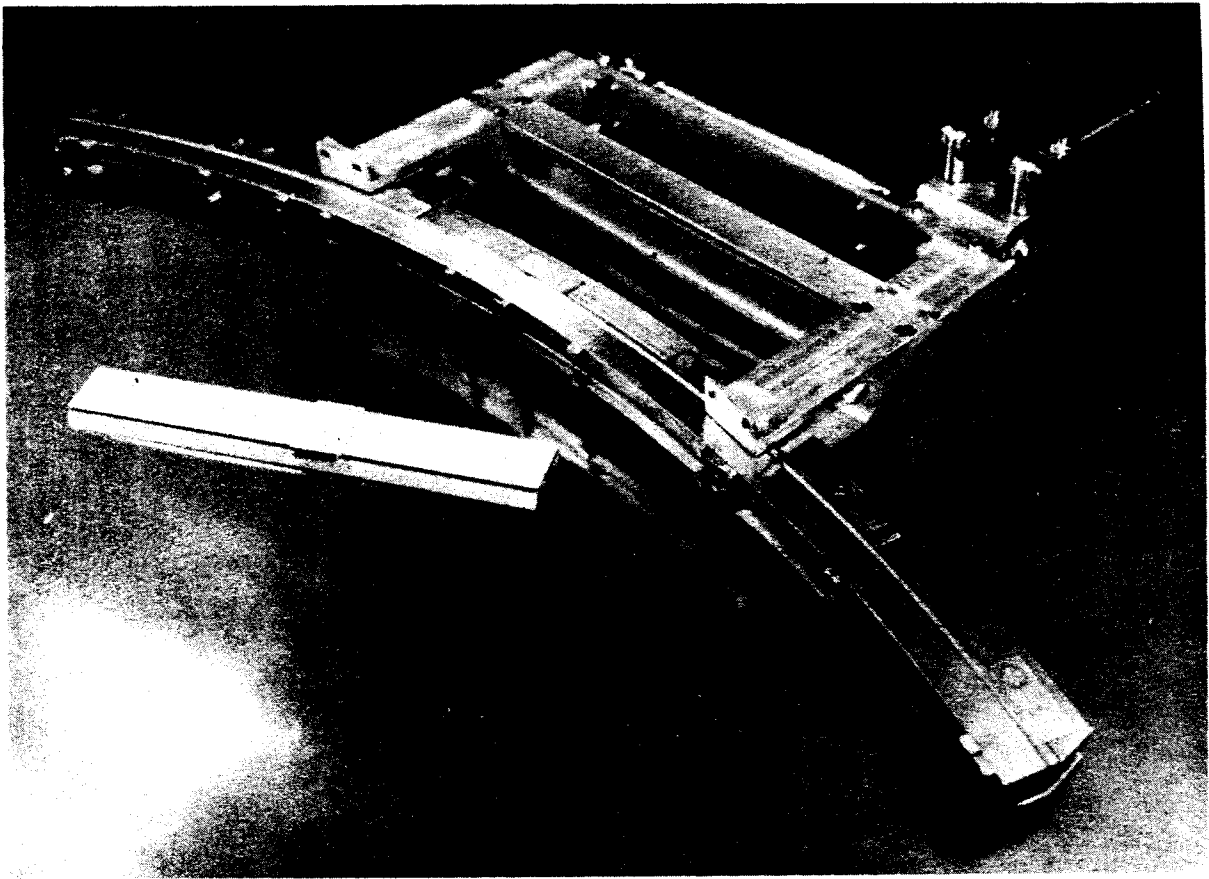


Рис. 5. Магнитный канал.

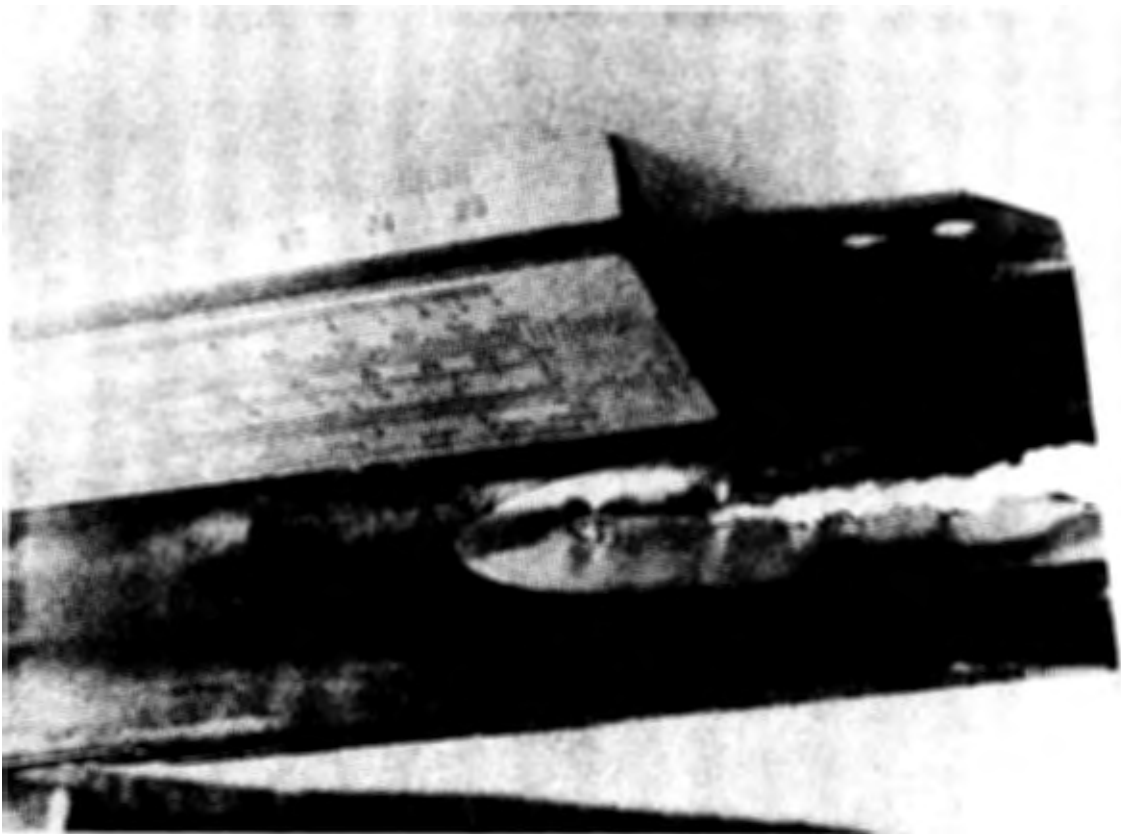


Рис. 6. Молибденовый зуб дефлектора.



хождения пучком магнитного канала составляет 60–70%. Полная эффективность вывода ионов  ${}^1_4\text{He}$ ,  ${}^3_{12}\text{C}$ ,  ${}^4_{16}\text{O}$ ,  ${}^5_{16}\text{O}$ ,  ${}^4_{12}\text{C}$  равна 10–14%. Горизонтальный эмиттанс выведенного пучка – 135 мм·мрад, вертикальный – 8 мм·мрад. Такое значение коэффициента вывода объясняется большой амплитудой некогерентных радиальных колебаний (8 мм) в районе выводного радиуса, связанной, по-видимому, с конечной шириной начальных фаз ускоряемых ионов, возмущениями магнитного поля типа первой гармоники и др.

Изучение факторов, ответственных за большую амплитуду радиальных колебаний, и их устранение позволит повысить коэффициент вывода.

В заключение авторы выражают благодарность В.В. Батюне, В.А. Акимову, и В.В. Попову за помощь в экспериментах.

### Л и т е р а т у р а

1. И.А. Шелаев и др. Препринт ОИЯИ 9-3988, Дубна, 1968.
2. И.А. Шелаев и др. Препринт ОИЯИ Р9-4831, Дубна, 1969.
3. В.С. Алфеев и др. Препринт ОИЯИ Р-2963, Дубна, 1966.
4. В.И. Данилов и др. Препринт ОИЯИ 2164, Дубна, 1966.
5. А.А. Арзуманов, Е.С. Миронов, АЭ, т. 6, стр. 202, 1959.
6. M. Odera et al. Nucl.Instr. and Meth., 65 (1968), p. 247.

Рукопись поступила в издательский отдел

11 апреля 1970 года.