

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

9-85-346

Г.Г.Гульбекян, С.И.Козлов, И.В.Колесов,
В.Н.Мельников, Ю.Ц.Оганесян

СИСТЕМА ТРАНСПОРТИРОВКИ ПУЧКОВ
ИЗОХРОННОГО ЦИКЛОТРОНА У-400

Направлено на Международное совещание
по циклотронам и их применению
/Бехине, ЧССР, 1985/

1985

В Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ на изохронном циклотроне У-400^{/1/} осуществляется ускорение тяжелых ионов с массовыми числами $14 \leq A \leq 100$ и энергиями от 2,9 до 13 МэВ/нуклон соответственно. Вывод пучков тяжелых ионов из камеры ускорителя производится методом перезарядки частиц на тонкой мишени. Вариация энергии ускоренных ионов достигается как путем изменения уровня магнитного поля, заряда ионов, так и изменением радиального и азимутального положений перезарядной мишени^{/2/}. Магнитная жесткость внутреннего пучка zBR при данном методе вывода уменьшается в три-четыре раза, что позволяет создать разветвленную систему разводки внешних пучков с относительно небольшой мощностью магнитооптических элементов. Разводка внешних пучков тяжелых ионов циклотрона ОИЯИ У-400 производится в медианной плоскости ускорителя в двух направлениях от камеры; в плоскости, сниженной относительно медианной на 2,7 м, и по вертикальному каналу.

Ионооптические свойства каналов системы транспортировки исследовались с помощью вычислительной программы TRANSPORT^{/3/} с начальными параметрами выведенных пучков ионов, определенных экспериментально:

- горизонтальный эмиттанс - 40π мм²·мрад
- вертикальный эмиттанс - 16π мм²·мрад
- жесткость пучка после вывода
- методом перезарядки - $/0,8 \div 1,25/$ Т·м
- разброс энергии - 1%.

Исходной точкой объекта системы транспортировки является точка на фланце камеры. Положение пучка на выводном фланце камеры ускорителя регулируется азимутальным положением перезарядной мишени на данном радиусе и далее магнитом коррекции.

1. ФИЗИЧЕСКОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ И РАСЧЕТНЫЕ СВОЙСТВА СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПУЧКОВ

Пучки тяжелых ионов могут быть выведены в двух противоположных направлениях от камеры циклотрона. В соответствии с этим в медианной плоскости ускорителя сформировано шесть каналов проводки пучков /рис.1/.

Магнитооптическая система канала №1 прямого пучка состоит из четырех квадрупольных дублетов 1 QD 1 - 1QD 4 и осуществляет фокусировку типа фокус-фокус с требованием на матрицу преобразования $R_{12} = R_{34} = 0$.

ОИЯИ
ЛЕНИНГРАДСКИЙ

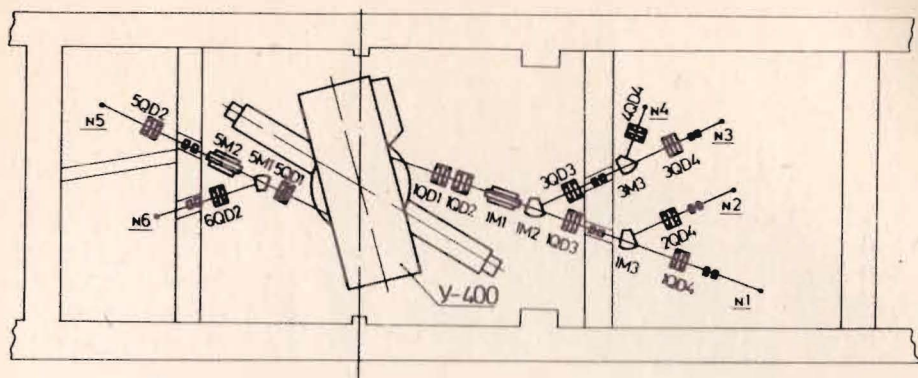


Рис. 1. Транспортировка внешних пучков изохронного циклотрона У-400 на уровне медианной плоскости.

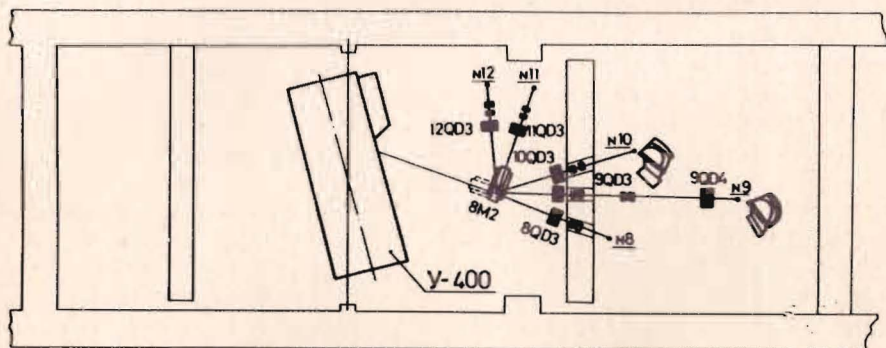


Рис. 2. Транспортировка внешних пучков изохронного циклотрона У-400 на уровне, сниженном на 2,7 м.

Каналы №2 и №3 подсоединяются к каналу №1 отклоняющими магнитами 1M3 и 1M2 соответственно, и последующим транспортом пучка дублетами 2 QD 4 и 3 QD 3, 3 QD 4. Пучок на мишени канала №4 формируется отклоняющим магнитом 3M3 и фокусирующим дублетом 4 QD 4.

Второе направление прямого пучка осуществляется по каналу №5. Магнитооптическая система его состоит из двух квадрупольных дублетов 5 QD 1 и 5 QD 2 и выполняет фокусировку типа фокус-фокус. На мишени канала №6 пучок фокусируется дублетом 6 QD 2 при подсоединении отклоняющим магнитом 5M1.

Параллельный перенос пучка ионов на второй уровень ниже медианного на 2,7 м, выполняется двумя 90-градусными магнитами 1M1 и 8M2, расположенными друг под другом с вертикальным направлением медианных плоскостей.

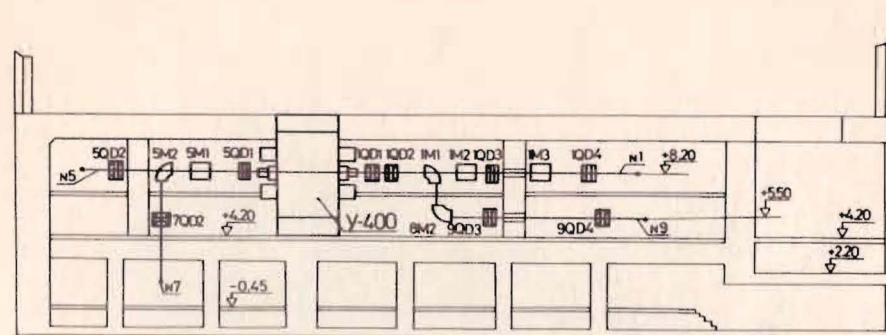


Рис. 3. Транспортировка внешних пучков изохронного циклотрона У-400 /вертикальный разрез/.

Коммутация сниженного пучка тяжелых ионов в этой плоскости по пяти каналам обеспечивается поворотом нижнего магнита 8M2 вокруг вертикальной оси /рис.2/.

Магнитооптическая система снижения и коммутации пучка реализует как дисперсионную транспортировку с фокусировкой типа параллель-параллель с фокусом пучка между магнитами и позволяет проводить магнитный анализ продуктов ядерных реакций /4/, так и бездисперсионный транспорт с фокусировкой типа фокус-параллель. Фокусировка пучка на мишени по каналам 8-12 выполняется дублетами 8 QD 3; 9 QD 3; 9 QD 4; 10 QD 3; 11 QD 3; 12 QD 3 ($R_{11} = R_{33} = 0$).

Вертикальный канал №7 определяется путем подсоединения к каналу №5 отклоняющего 90-градусного магнита 5M2. Получение объекта на мишени достигается дублетом 7 QD 2 /рис.3/.

На рис.4 и 5 приведены огибающие пучков при транспортировке пучков по каналам №4 и №8 соответственно, с указанными выше типами фокусировок.

2. МАГНИТООПТИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

В системе комплекса разводки пучков циклотрона У-400 фокусировка транспортируемого пучка осуществляется дублетами квадрупольных линз с круглым ярмом /апертура - $2a = 0,11$ м, длина полюсного наконечника - 0,3 м, градиент магнитной индукции - 6 Т/м/. Расстояние между линзами в дублете - 0,28 м.

В установке снижения и коммутации пучков, а также для вертикального канала №7 используется модульный электромагнит Ш-образного исполнения с углом отклонения пучка 90°. Для коррекции эффективной границы магнита /5/ в пределах $\pm 2,5$ мм при изменении магнитной индукции от 0,4 до 1,3 Т применены подвижные эк-

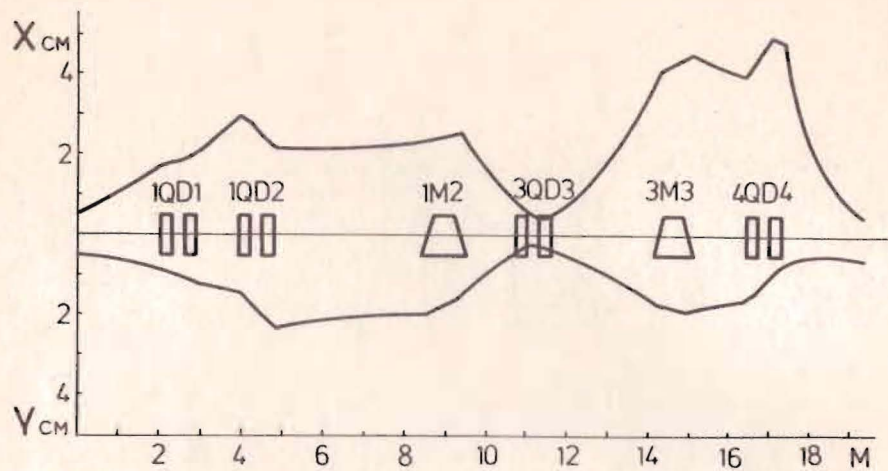


Рис.4. Огибающие пучка при транспортировке по каналу №4.

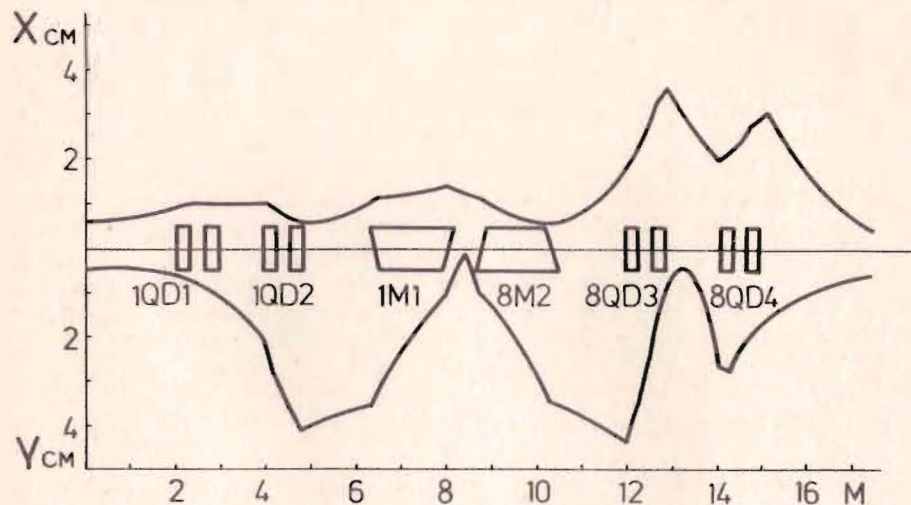


Рис.5. Огибающие пучка при транспортировке по каналу №8.

раны вблизи входной и выходной границ магнита. Форма торцов полюсов близка к профилю полюса Роговского. Вертикально-фокусирующие углы наклона торцов магнита - $23,7^\circ$, межполюсной зазор - 0,08 м. Конструкция магнита позволяет транспортировку прямого пучка.

В системе разводки на уровне медианной плоскости применяется С-образный магнит с однородным полем $\Delta B \leq 10^{-3}$ при изменении магнитной индукции от 0,8 до 1,3 Т/. Угол отклонения - 45° при радиусе поворота 1 м, вертикальный зазор - 0,08 м, углы наклона торцов $/11,7^\circ/$ обеспечивают двойную фокусировку.

Согласование положения пучка с оптической осью ионопровода и точное нацеливание его на физическую мишень осуществляются корректирующими магнитами 0-образного типа с эффективной длиной полюса - 0,28 м и магнитной индукцией 0,04 Т. Магнит позволяет регулировать угловую координату в пределах $\pm 0,46^\circ$.

3. ДИАГНОСТИКА ВНЕШНИХ ПУЧКОВ

Контроль и измерение параметров транспортируемого пучка осуществляются системой диагностики, размещенной в модульных блоках, устанавливаемых на каналах.

Интенсивность пучка измеряется охлаждаемым цилиндром Фарадея на максимальную мощность пучка до 2 кВт.

Профиль и положение пучка в ионопроводе измеряются с помощью профильной решетки /15 горизонтальных и 15 вертикальных, толщиной 50 мкм вольфрамовых нитей, в апертуре 75x75 мм.мм/, а также механического сканнера /вольфрамовая игла диаметром 1,5 мм с разрешением 1,5 мм, чувствительностью >10 пА в апертуре диаметром 60 мм/ и наглядного представления на дисплее.

4. ВАКУУМНАЯ СИСТЕМА КАНАЛОВ

Линии транспортировки пучка отсекаются шиберами на отдельные вакуумные секции. Каждая секция откачивается через модуль высокого вакуума, имеющего высоковакуумный насос, диагностический блок, клапан фороткачки и клапан напуска атмосферы. Рабочее давление в ионопроводе $2 \cdot 10^{-6}$ Тор.

5. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

В настоящее время на большинстве каналов ведутся физические эксперименты /рис.6,7/ с пучками ионов N_2 , O_2 , Ne, Ar, Ti, Cr, Fe, Ni с энергией от 2,9 до 13 МэВ/нуклон. В зависимости от требований эксперимента размер пучка на мишени регулируется в пределах от 2 до 10 мм. Эффективность проводки пучка составляет $0,7 \pm 0,8$. Контроль положения и профиля пучка, осуществленный системой диагностики в 4-6 точках каждого канала, указывает на удовлетворительное согласие с расчетными.

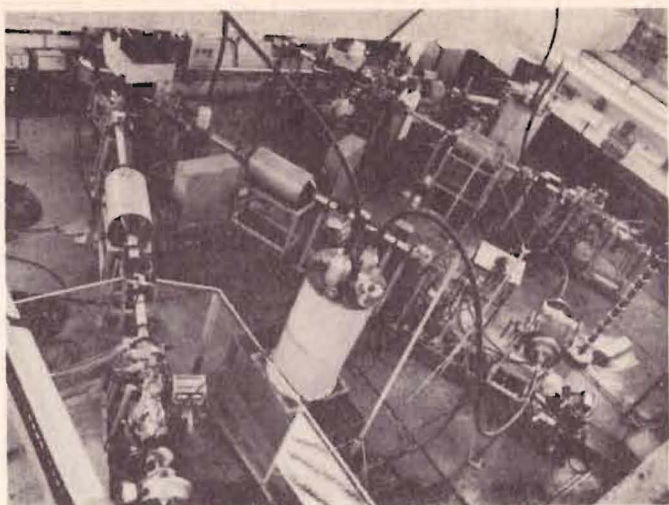


Рис.6. Экспериментальный зал. Каналы №1-4.

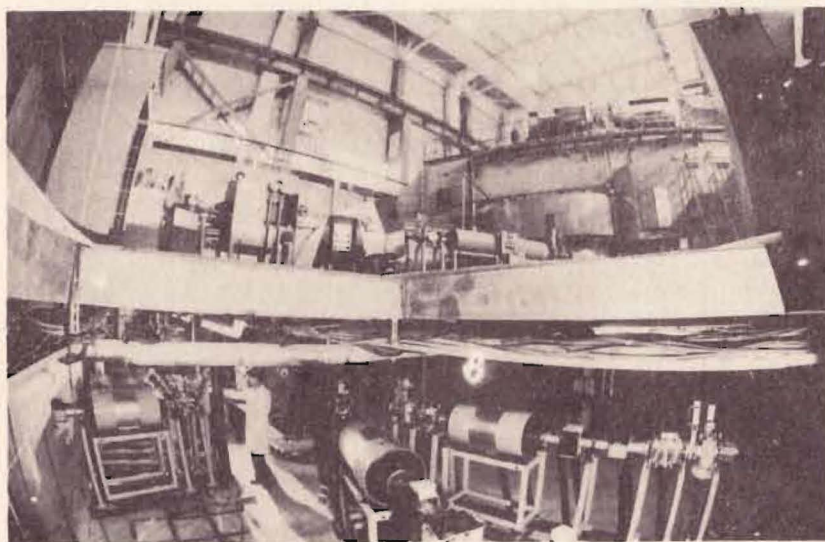


Рис.7. Экспериментальный зал. Каналы №8-12. Установка снижения и коммутации пучка,

ЛИТЕРАТУРА

1. Флеров Г.Н. и др. Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 14-16 октября 1980 г. ОИЯИ, Дубна, 1980, т.1, с.59.

2. Оганесян Ю.Ц. и др. ОИЯИ, 9-11993, Дубна, 1978.
3. Brown L. et al. SLAC Report No.91. Stanford, 1970.
4. Тарантин Н.И., Кабаченко А.П. ОИЯИ, P13-80-765, Дубна, 1980.
5. Кленин Б.А. и др. ОИЯИ, 9-84-357, Дубна, 1984.

Рукопись поступила в издательский отдел
13 мая 1985 года.