

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



СЗ450
Б-419

4/II-74

9 - 7504

587/2-74

В.Бейшовец, Н.Л.Заплатин, М.Крживанек, М.Кузмяк,
Л.Шимова, С.И.Чеснова

СХЕМА ТРАНСПОРТИРОВКИ ПУЧКА
ДЛЯ ФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ
НА ИЗОХРОННОМ ЦИКЛОТРОНЕ У-120М
В ИЯФ ЧСАН

1973

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

9 - 7504

В.Бейшовец, Н.Л.Заплатин, М.Крживанек, М.Кузмяк,
Л.Шимова, С.И.Чеснова

СХЕМА ТРАНСПОРТИРОВКИ ПУЧКА
ДЛЯ ФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ
НА ИЗОХРОННОМ ЦИКЛОТРОНЕ У-120М
В ИЯФ ЧСАН

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

I. Требования к параметрам пучка

Изохронный циклотрон – многоцелевая установка, предназначенная для физических и других исследований в Институте ядерной физики ЧСАН. Эксперименты, выполняемые на нем, требуют разработки разветвленной системы разводки пучков и создания новых экспериментальных помещений для размещения большого количества измерительной аппаратуры.

Требования физиков разных отделов института к параметрам пучка в точках расположения мишеней приведены в таблице.

При оценке различных вариантов размещения трактов пучков и экспериментальных помещений необходимо учесть возможность выполнения монтажных и наладочных работ в одних помещениях в то время, когда пучок проводится в другие.

Задача разводки пучков от изохронного циклотрона решена в нескольких лабораториях мира /1,2/.

2. Схема разводки пучков и предполагаемые исследовательские работы

На рис. I приведен предлагаемый вариант размещения экспериментальных залов и помещений, экспериментального оборудования и разводки пучков.

Как показано в таблице, необходимо обеспечить два типа пучков, отличающихся степенью монохроматичности: $\Delta W/W \approx 10^{-3}$ и $\Delta W/W \approx 10^{-4}$. Наряду с уже существующими экспериментальными залами №1 и №2 планируется в будущем построить экспериментальный зал №3 с общей площадью 300 м².

Прототипом при выборе системы транспортировки явилась система, использованная на изохронном циклотроне в Беркли /1/.

Планируются следующие научно-исследовательские работы на мишенях:

- T₀ - производство радиоактивных изотопов;
- T₁ - изучение пространственного распределения продуктов ядерных реакций для исследования элементарных взаимодействий с поляризованными и неполяризованными пучками;
- T₂ - спектроскопия короткоживущих бета-радиоактивных изотопов;
- T₃ - измерения спектра и угловых распределений с высоким разрешением на многоугловом магнитном анализаторе;
- T₄ - изучение угловых распределений с высоким разрешением на полупроводниковых детекторах при использовании поляризованных пучков;
- T₅ - изучение гамма-излучения в ядерных реакциях и гамма-совпадений с высоким разрешением на полупроводниковых детекторах; элементарный и структурный анализ аморфных веществ, тонких слоев и кристаллов;
- T₆ - исследование изомерии спонтанного деления, аналоговых уровней и запаздывающих протонов;
- T₇ - эксперименты с поляризованными мишенями, рассеяние поляризованных частиц;

T₈ - измерение спектров электронов, возникающих при ядерных реакциях;

T₉ - гамма-спектроскопия на пучке заряженных частиц.

Размещение отдельных элементов системы предварительное. Как положение, так и параметры отдельных элементов будут постепенно уточняться. Элементы первого и второго трактов M₁, Q₁, Q₂, M₂ должны сформировать пучок на мишенях T₁ и T₂ в соответствии с требованиями эксперимента при отсутствии потерь. Подобным образом можно сформулировать требования к остальным трактам.

3. Расчет параметров пучка для тракта с мишенью T₁

Для расчета оптических свойств системы используется линейная матричная теория /3/. Рассматриваемый тракт состоит из квадруольного дублета линз и двух одинаковых отклоняющих магнитов однородного поля с радиусом центральной траектории $r_0 = 94$ см, углом поворота $\alpha = 36^\circ$ и углами входа и выхода соответственно $\beta_1 = 0$ и $\beta_2 = 10^\circ$ /5/. Длина тракта около 10 м.

На рис. 2 показаны вертикальный и радиальный эмитансы пучка на выходе из ускорителя и на конце тракта, а также огибающие для данного эмитанса и функция дисперсии. Градиенты линз Q₁ и Q₂ составляют при этом 165 э/см для дейтронов с энергией $W_d = 20,8$ Мэв. Из рисунка видно, что максимальный радиальный размер пучка находится во втором отклоняющем магните и составляет ~22 мм, а вертикальный - в радиально-дефокусирующем квадруполье и достигает ~16 мм.

В таком варианте на мишени T₁ получается пучок с размером $2x_{max} = 4,8$ мм и $2z_{max} = 9,4$ мм. Дисперсия на конце тракта составляет ~2,5 м, т.е. конечный радиальный размер пучка за счет разброса по

импульсу увеличивается на 2,5 мм при $\Delta W/W = 10^{-3}$ ($\Delta P/P = 0,5 \cdot 10^{-3}$). Для того, чтобы получить меньшие размеры пучка на мишени T_1 , необходимо или формировать начальный эмитанс в точке S_0 , или увеличить число свободных оптических параметров в тракте (добавить еще один дублет после магнита M2).

4. Система внешней монохроматизации пучка

Предполагается улучшить монохроматичность пучка от ускорителя использованием магнитного анализатора. Для того, чтобы при ширине конечной щели $\Delta X = 1$ мм получить разрешение $P/\Delta p \approx 10^4$, необходимо иметь дисперсию в анализирующей системе $D \geq 10$ м. На рис. 3 показан вариант симметричного анализатора, состоящего из двух магнитов однородного поля с углами поворота $\alpha = 110^\circ$, радиусами центральной траектории $r_0 = 200$ см и углами входа и выхода соответственно $\beta_1 = 41^\circ 28'$ и $\beta_2 = 30^\circ 2'$. Такая система обеспечивает фокус в первом приближении в радиальном и вертикальном направлениях при увеличении $M=1$ и дисперсию $D = 18,5$ м. Радиус центральной траектории выбирался таким, чтобы поле H_x , соответствующее максимальной энергии частиц, было далеко от насыщения. Расстояния до объекта $l_{1x} = l_{1z} = 234$ см и до изображения $l_{2x} = l_{2z} = 328$ см.

Предполагается использовать при анализе весь эмитанс пучка, т.е. система транспортировки, предшествующая анализатору, должна формировать на щели S_2 пучок с радиальным размером 1 мм. В вертикальном направлении обычно используется высота щели 5 мм. Тогда для расчетов получается эмитанс пучка с максимальной расходимостью $2 \alpha'_{max} = 32$ мрад, $2 \alpha'_{max} = 6,6$ мрад, изображенный на рис. 4.

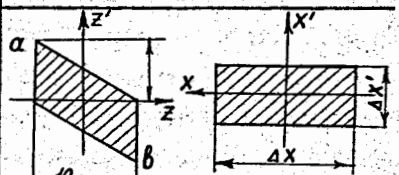
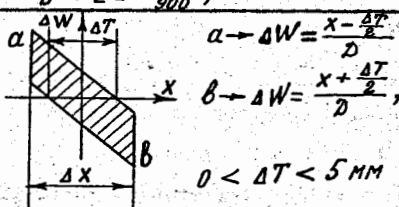
Расчет огибающих пучка для такого эмитанса показывает, что ширина дорожки в магните с высокой однородностью поля должна быть $2 \Delta X \approx 200$ мм, высота апертуры - $2 \Delta Z \approx 20$ мм. Все расчеты проводились в линейном приближении с использованием ЭВМ. Для того, чтобы более точно оценить разрешение, которое может быть получено в такой системе, следует оптимизировать оптические параметры $l_1, l_2, \beta_1, \beta_2$ с учетом реального распределения краевого поля магнитов, а также aberrаций второго порядка. При этом необходима коррекция оптических параметров и с целью получения фокуса I-го порядка.

Литература

1. R.E. Hintz et al.. Nucl. Instr. Meth., 72, 61 (1969).
2. G.H. Mackenzie et al.. IEEE Transactions on NS-14 450 (1967).
3. L.Karl Brown. Samk. Howry, Transport/360 A computer program for designing charged particle beam transport system SLAC-91, UC-28.
4. Материалы III-го совещания по изохронному циклотрону У-120М, ОИЯИ, P2-7339, Дубна, 1973.

Рукопись поступила в издательский отдел
18 октября 1973 года.

Таблица

Номер мишени	T1	T2	T3
	Интенсивность пучка на мишени	максимальная	максимальная
Размер пучка на мишени	ширина щели (1-3) мм	ϕ 1-2 см	 <p> $0 < \Delta x' < 4 \text{ мэд}$ $0 < \Delta x < 10 \text{ мм}$ $a \rightarrow z' = \frac{\delta - z}{900}$ $b \rightarrow z' = -\frac{\delta + z}{900}$ </p>
Моноэнергетичность пучка	$\frac{\Delta W}{W} \sim 10^{-3}$	$\frac{\Delta W}{W} \sim 10^{-3}$	 <p> $a \rightarrow \Delta W = \frac{x - \frac{\Delta T}{2}}{D}$ $b \rightarrow \Delta W = \frac{x + \frac{\Delta T}{2}}{D}$ $0 < \Delta T < 5 \text{ мм}$ $-50 \text{ см/MeV} < D < -0,5 \text{ см/MeV}$ <i>совр. D \approx -2,35 см/MeV.</i> </p>
Сорт ускоренных ионов	$p, d, \alpha, {}^{++}\text{He}^3$	$p, d, \alpha, {}^{++}\text{He}^3$ тяжелые ионы	$p, d, \alpha, {}^{++}\text{He}^3$
Экспериментальный зал	I	I	II

продолжение таблицы

Номер мишени	T4	T5		
	Интенсивность пучка на мишени	0,1 - 0,5 мА	0,01 мА	0,01 мА
Размер пучка на мишени	$\sim 2 \text{ мм}^2$, расходимость пучка-минуты	$\phi \sim 1$ мм, расходимость пучка-минуты	$\phi < 0,1$ мм, расходимость пучка-минуты	
Моноэнергетичность пучка	$\frac{\Delta W}{W} \sim 10^{-4}$	$\frac{\Delta W}{W} \sim 10^{-4}$	$\frac{\Delta W}{W} \sim 0,5 \times 10^{-4}$	
Сорт ускоренных ионов	$p, d, \alpha, {}^{++}\text{He}^3$	$p, d, \alpha, {}^{++}\text{He}^3$, тяжелые ионы	$\alpha, {}^{++}\text{He}^3$, тяжелые ионы	
Экспериментальный зал	III	III	III	
Номер мишени	T6	T7	T8	T9
Интенсивность пучка на мишени	$\sim 1 \text{ мА}$	максимальн.	50 мА	до 50 мА
Размер пучка на мишени	$\phi \sim 5 \text{ мм}$	$\phi \sim (3-5) \text{ мм}$	или $10 \times (1-3) \text{ мм}^2$	$\phi (3-5) \text{ мм}$
Моноэнергетичность пучка	$\frac{\Delta W}{W} \sim 10^{-4}$	$\frac{\Delta W}{W} \sim 10^{-3}$	$\frac{\Delta W}{W} \sim 10^{-3}$	$\frac{\Delta W}{W} \sim 10^{-3}$
Сорт ускоренных ионов	$p, d, \alpha, {}^{++}\text{He}^3$	\hat{p}, \hat{d}	$p, d, \alpha, {}^{++}\text{He}^3$	$p, d, \alpha, {}^{++}\text{He}^3$
Экспериментальный зал	III	III	III	III

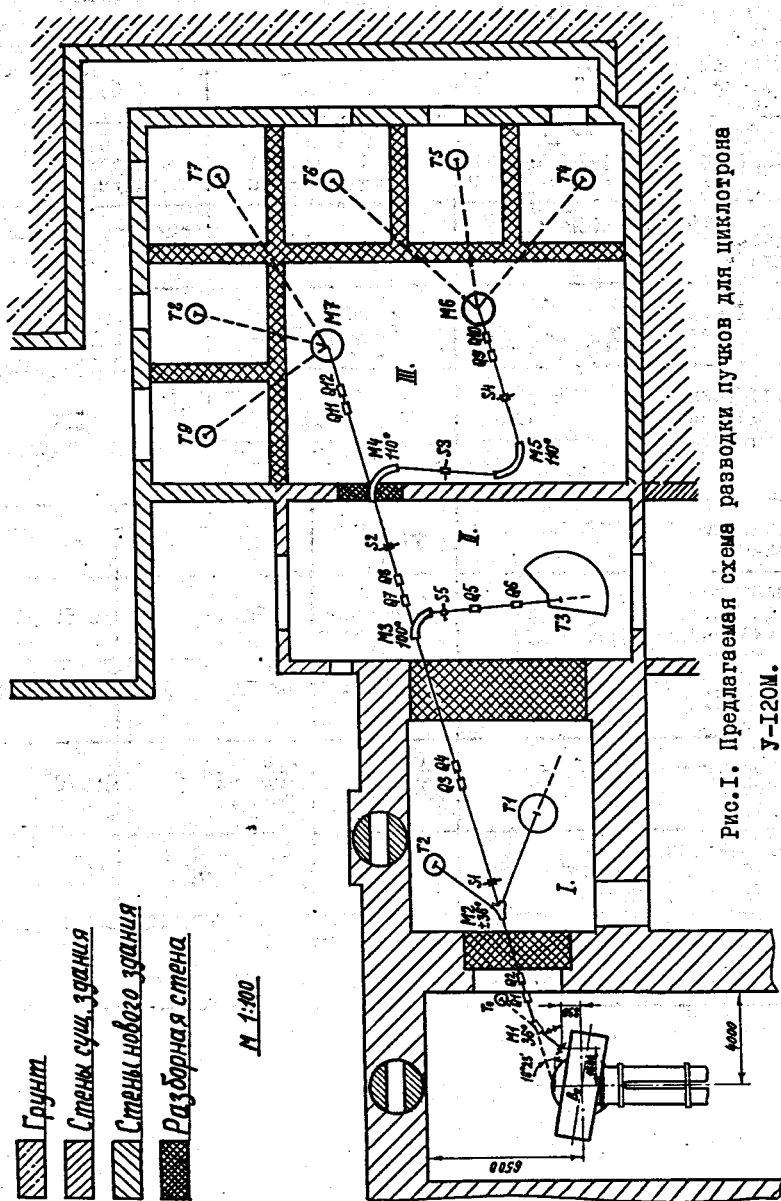


Рис.1. Предлагаемая схема разводки пучков для циклотрона У-120М.

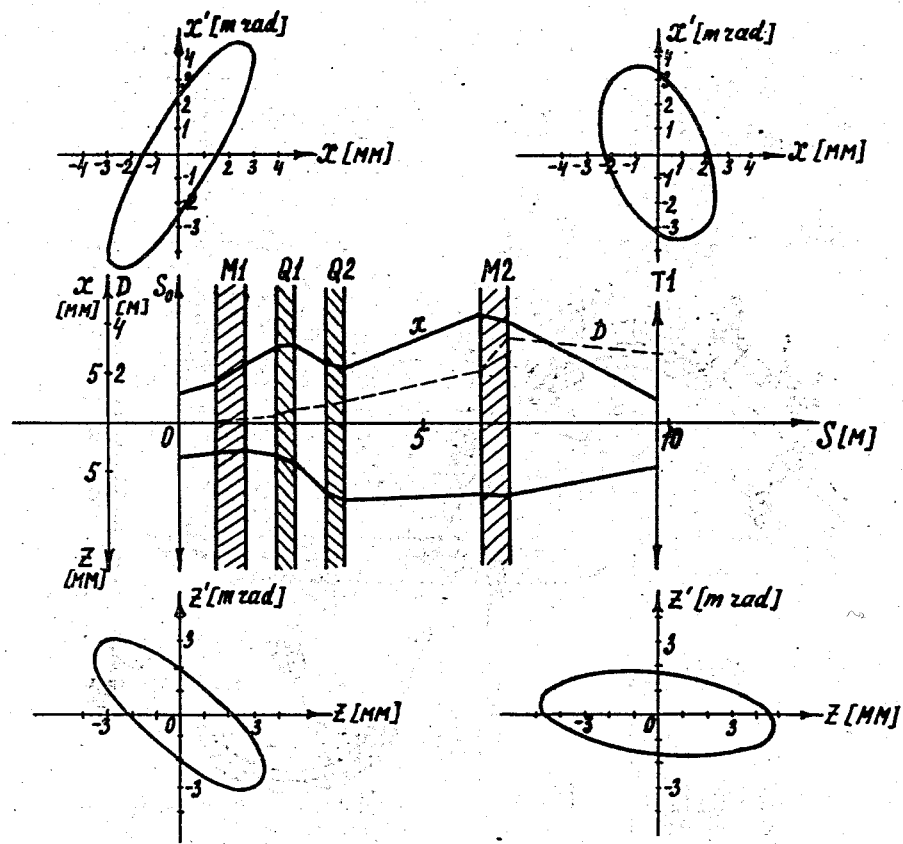


Рис.2. Эмитансы пучка и огибающие для тракта, формирующего пучок на мишень Т₁.

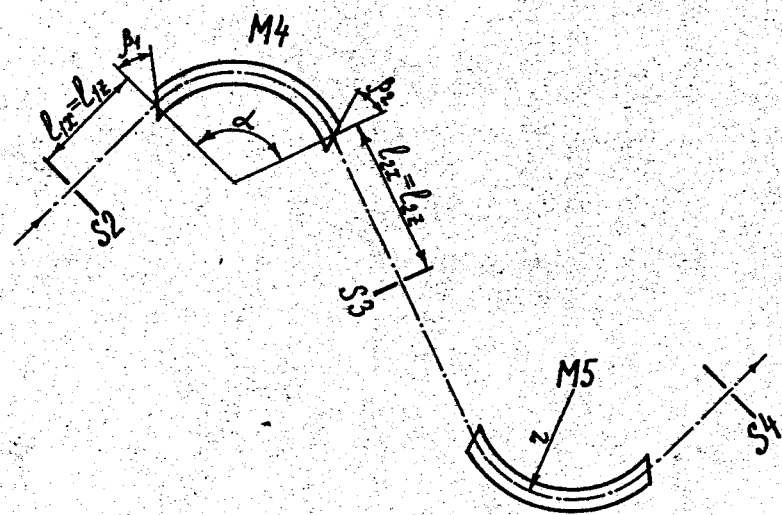


Рис.3. Схема магнитного анализатора.

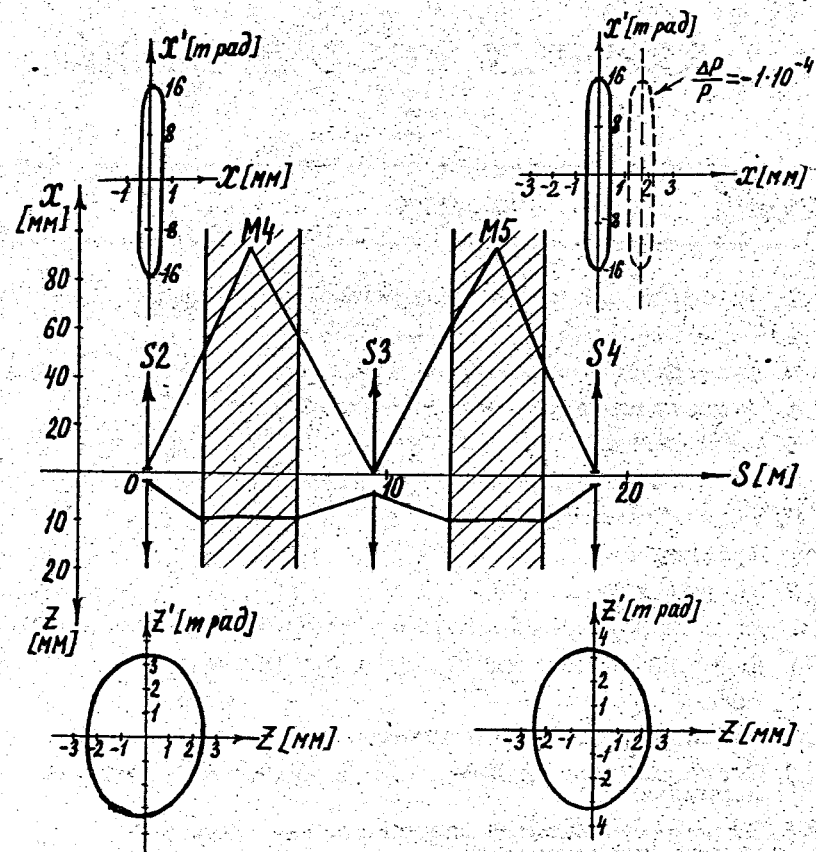


Рис.4. Эмитансы на входе и выходе анализатора и огибающие пучка.