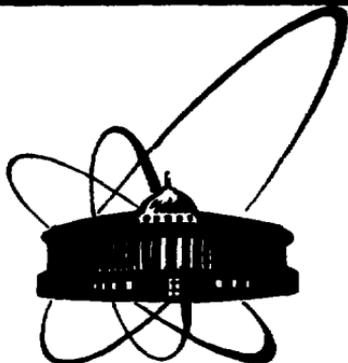


SW8708100



**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

9-86-753

**Г.А.Брунерс, Б.В.Василишин, И.Б.Иссинский,  
С.В.Костюченко, В.А.Михайлов, А.Е.Сеннер,  
Н.А.Шутова**

**РАСЧЕТ КАНАЛОВ  
ТРАНСПОРТИРОВКИ ПУЧКОВ НУКЛОТРОНА**

**1986**



## 1. ВВЕДЕНИЕ

В ускорителе релятивистских ядер – нуклотроне<sup>1/1</sup> предусмотрены однооборотная инжекция ионов с энергией 5 МэВ/нуклон из линейного ускорителя ЛУ-20 и два направления медленного вывода в экспериментальные корпуса № 205 (МВ-1) и № 1Б (МВ-2). Вывод частиц предполагается осуществлять в широком диапазоне энергий с длительностью от до 10 с.

Размещение кольца нуклотрона на отметке -3,9 м по высоте относительно существующих установок потребовало разработки сравнительно сложных систем транспортировки с поворотом пучка в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

В работе кратко описана программа и представлены проведенные ее помощью расчеты каналов на участках от линейного ускорителя до нуклотрона и от нуклотрона до элементов транспортировки в экспериментальных корпусах.

## 2. ИНТЕРАКТИВНАЯ ПРОГРАММА РАСЧЕТОВ

Расчеты каналов транспортировки проводились с помощью интерактивной программы, поставленной на ЭВМ ЕС-1055М ЛВЭ. Эта программа позволяет при помощи матричного метода рассчитывать в линейном приближении характеристики пучка заряженных частиц. Формализованный диалоговый режим и оперативное представление результатов вычислений в графическом (на графическом дисплее) и числовом (на алфавитно-цифровом дисплее) видах позволяют эффективно и наглядно изучать физические свойства различных вариантов структуры того или иного канала. Это дает возможность достаточно быстро выбрать и рассчитать вариант, наиболее полно удовлетворяющий поставленным требованиям. Предусмотрено два режима работы программы: 1) получение характеристики пучка в канале с заданными параметрами (режим пересчета), 2) подбор таких значений указанных параметров, при которых требуемые характеристики пучка принимают заданные значения (режим оптимизации). С помощью первого режима определяются степень влияния того или иного элемента структуры канала и набор начальных условий для окончательного расчета, который производится в режиме оптимизации. Первоначальный ввод параметров структуры рассчитываемого канала и характеристик пучка на входе в канал производится с алфавитно-цифрового дисплея, а затем, после записи их на

файл прямого доступа, эти данные непосредственно считываются с магнитного носителя. В соответствии с этим возможна запись на диск до 50 различных вариантов структуры каналов.

Вывод информации на экран графического дисплея GD-71, который входит в состав дисплейной графической станции<sup>/3/</sup>, подключенной к ЭВМ ЕС-1055М, обеспечивается подпрограммой графического представления результатов расчета. Входными параметрами подпрограммы являются элементы, описывающие структуру канала и массивы значений бетатронных функций пучка<sup>/3/</sup>. Построение в нужном масштабе схемы канала и затребованных функций осуществляется с помощью подпрограммы базового пакета графических программ<sup>/5,6/</sup>, являющегося частью программного обеспечения графической дисплейной станции на ЭВМ ЕС-1055М. При этом вывод информации на экран осуществляется либо в режиме, когда отдельные изображения сменяют друг друга в момент завершения построения предыдущего изображения, либо в режиме, когда отдельное изображение фиксируется на экране, а момент его замены другим определяется нажатием клавиши на функциональной клавиатуре графического дисплея. Существует также возможность фиксировать на экране неизменяющуюся часть выводимой картины. На любой стадии расчета можно затребовать с алфавитно-цифрового дисплея выдачу необходимых результатов на АЦПУ.

### 3. КАНАЛ ИНЖЕКЦИИ

Канал инжекции предназначен для транспортировки пучка из линейного ускорителя в нуклотрон. Бездисперсионный параллельный пучок переводится на горизонтальную отметку проектируемого ускорителя и одновременно создаются необходимые величины вертикальной и горизонтальной дисперсии. В самом синхротроне с помощью внутренней системы ввода вертикальная дисперсия сводится на ноль, а горизонтальная становится равной дисперсии магнитной структуры нуклотрона.

Параметры пучка на выходе из линейного ускорителя следующие:

магнитная жесткость  $B\rho = 0,64653 \text{ Тл} \cdot \text{м}$ ;

импульсный разброс  $\Delta p/p_0 = \pm 1 \cdot 10^{-3}$ ;

эмиттанс  $\epsilon_x = \epsilon_z = 30\pi \text{ мм} \cdot \text{мрад}$ .

Динамические характеристики пучка на входе и выходе канала представлены в табл.1.

На рис.1 приведен общий вид канала инжекции в нуклотрон.

Огибающие пучка и дисперсионные функции показаны на рис.2. С целью удобства ведения расчетов канал считался в обратном направлении, т.е. против движения заряженных частиц. За начальные условия брались необходимые параметры пучка в нуклотроне (на срезе линзы Ф со стороны прямолинейного промежутка). В соответствии с этим функциональное описание участков канала производится так, как если бы пучок двигался в обратном направлении. Канал разбит на три участ-

Таблица 1

|       | $\beta_x, \text{м}$ | $\beta_z, \text{м}$ | $\alpha_x$ | $\alpha_z$ | $\psi_x, \text{м}$ | $\psi_z, \text{м}$ | $\psi'_x, \text{рад}$ | $\psi'_z, \text{рад}$ |
|-------|---------------------|---------------------|------------|------------|--------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| ход   | 3,33                | 1,88                | 0          | 0          | 0                  | 0                  | 0                     | 0                     |
| выход | 12,48               | 3,31                | -2,021     | 0,552      | 2,60               | 0,35               | 0,250                 | 0,199                 |

$\beta_{x,z}$  - бета-функция,  $\alpha_{x,z}$  - альфа-функция,  $\psi_{x,z}$  - дисперсия,  $\psi'_{x,z}$  - производная дисперсии.

а. На третьем участке линзами Л10Ф и Л18Ф осуществляется сведение горизонтальной дисперсии на ноль в магните М2Г с одновременной фокусировкой пучка в горизонтальной плоскости. Необходимая фокусировка пучка в вертикальной плоскости осуществляется линзой Л9Д, которая расположена в области перехода горизонтальной дисперсии через ноль и поэтому практически на нее не влияет. На втором участке

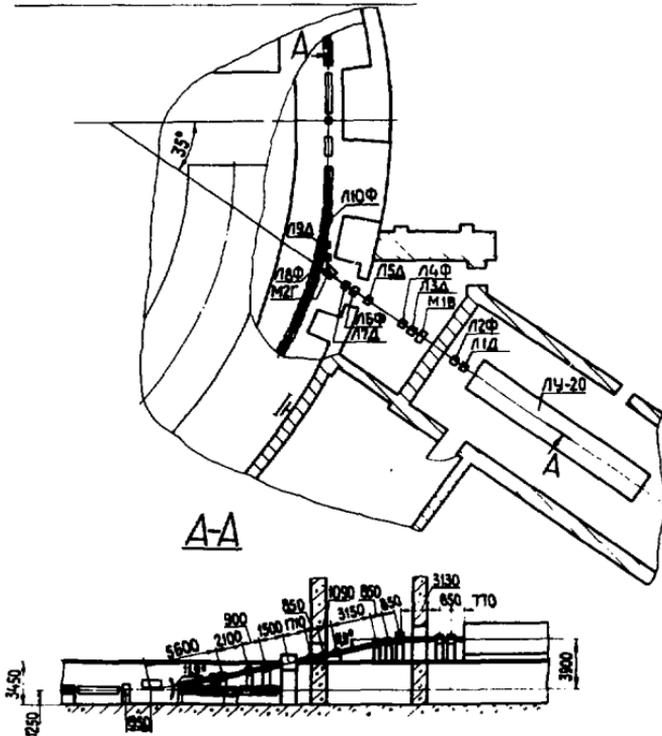


Рис.1. Общий вид канала инжекции в нуклотрон.

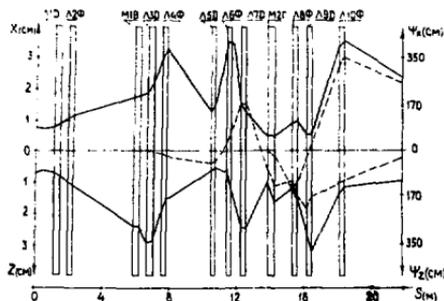


Рис.2. Огибающие пучка и дисперсионные функции в горизонтальной и вертикальной плоскостях в канале инжекции.

производится зануление дисперсии в вертикальной плоскости в магните М1В с помощью триплета линз Л7Д, Л6Ф, Л5Д. На первом - согласуется пучок на выходе из линейного ускорителя при помощи линз Л4Ф, Л3Д (хотя эти линзы расположены в пределах второго участка, по своему функциональному назначению они включены в первый, так как из-за малости вертикальной дисперсии они влияют на нее несущественно) и Л2Д, Л1Д.

Параметры элементов этого канала и величины огибающей пучка приведены в табл.2.

Таблица 2

| Наименование                        | Обозначение | G, Тл/м<br>В, Тл | Эффективная<br>длина, м | Размер пучка<br>XxZ, мм <sup>2</sup> |
|-------------------------------------|-------------|------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| Магнитная<br>квадрупольная<br>линза | Л1Д         | -0,30            | 0,35                    | 18x14                                |
|                                     | Л2Ф         | 0,25             | 0,35                    | 24x22                                |
|                                     | Л3Д         | -1,517           | 0,35                    | 44x60                                |
|                                     | Л4Ф         | 1,412            | 0,35                    | 66x38                                |
|                                     | Л5Д         | -4,58            | 0,35                    | 32x12                                |
|                                     | Л6Ф         | 3,0              | 0,35                    | 72x25                                |
|                                     | Л7Д         | -3,649           | 0,35                    | 31x51                                |
|                                     | Л8Ф         | 3,701            | 0,35                    | 20x27                                |
|                                     | Л9Д         | -2,0             | 0,35                    | 10x68                                |
|                                     | Л10Ф        | 1,046            | 0,35                    | 72x26                                |
| Поворотный<br>дипольный<br>магнит   | М1В         | 0,2238           | 0,30                    | 36x50                                |
|                                     | М2Г         | -1,4267          | 0,47                    | 10x35                                |

#### 4. КАНАЛ ВЫВОДА МВ-1

Канал вывода МВ-1 осуществляет транспортировку ускоренного пучка от нуклотрона до существующего канала медленного вывода из синхрофазотрона, транспортирующего пучок к экспериментальным

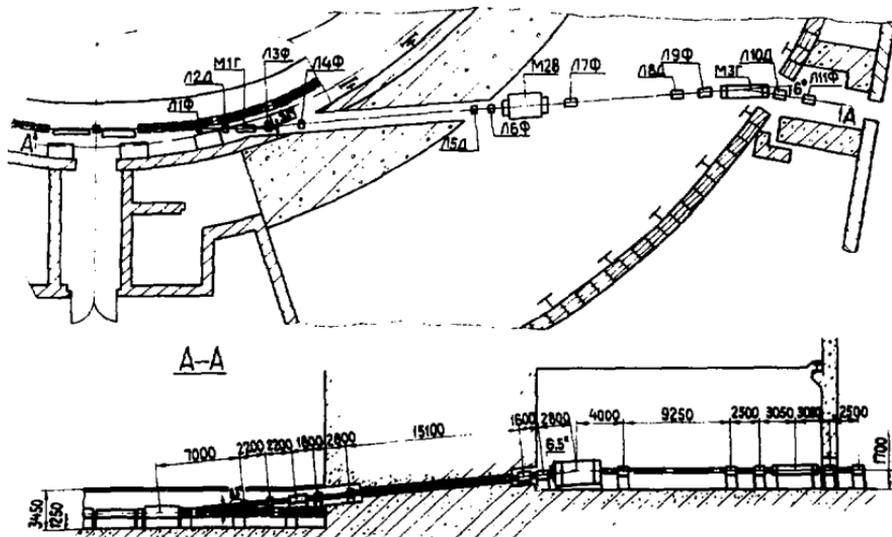


Рис.3. Общий вид канала вывода МВ-1.

установкам корп.205. На рис.3 приведен общий вид канала вывода МВ-1. Параметры выводимого пучка на входе в канал следующие:

- магнитная жесткость  $B\rho = 46,14 \text{ Тл} \cdot \text{м}$ ;
- импульсный разброс  $\Delta p/p_0 = \pm 1,28 \cdot 10^{-3}$ ;
- эмиттанс  $\epsilon_x = 4\pi \text{ мм} \cdot \text{рад}$ ;
- $\epsilon_z = 2,67\pi \text{ мм} \cdot \text{мрад}$ .

Динамические характеристики на входе и выходе канала представлены в табл.3.

Таблица 3

|       | $\beta_x, \text{ м}$ | $\beta_z, \text{ м}$ | $\alpha_x$ | $\alpha_z$ | $\psi_x, \text{ м}$ | $\psi_z, \text{ м}$ | $\psi_x', \text{ рад}$ | $\psi_z', \text{ рад}$ |
|-------|----------------------|----------------------|------------|------------|---------------------|---------------------|------------------------|------------------------|
| Вход  | 19,46                | 3,61                 | -1452      | 0,618      | 3,93                | 0,18                | 0,732                  | 0,115                  |
| Выход | 52,20                | 27,59                | 21         | 1          | 0                   | 0                   | 0                      | 0                      |

Огибающие пучка и дисперсионные функции показаны на рис.4. Функционально канал разбит на три участка. На первом, представленном линзами Л1Ф, Л2Д, Л3Ф, Л4Ф, магнитом М1Г, линзами Л5Д

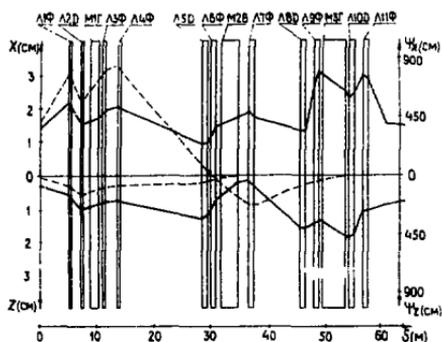


Рис.4. Огибающие пучка и дисперсионные функции в горизонтальной и вертикальной плоскостях в канале МВ-1.

и Л6Ф, осуществляется уменьшение вертикальной дисперсии в магните М2В до нуля, создание определенных величин горизонтальной дисперсии и ее производной, подбор минимально возможного горизонтального размера пучка. На втором - триплет линз Л7Ф, Л8Д, Л9Ф - зануление горизонтальной дисперсии в магните М3Г. На третьем участке линзы Л10Д и Л11Ф согласуют пучок для его дальнейшей транспортировки в корп. 205.

Параметры элементов канала и величины огибающей пучка представлены в табл.4.

Таблица 4

| Наименование   | Обозначение | G, Тл/м<br>В, Тл | Эффективная<br>длина, м | Размер пучка<br>$X \times Z, \text{мм}^2$ |
|--|-------------|------------------|-------------------------|---|
| Магнитная<br>квадрупольная<br>сверхпроводя-<br>щая линза | Л1Ф         | 26,50            | 0,40                    | 44x11                                     |
|  | Л2Д         | -33,813          | 0,40                    | 31x20                                     |
|  | Л3Д         | 7,114            | 0,40                    | 38x16                                     |
|  | Л4Ф         | 7,144            | 0,40                    | 40x16                                     |
| Магнитная<br>квадрупольная<br>линза                      | Л5Д         | -14,0            | 1,0                     | 19x25                                     |
|  | Л6Ф         | 11,0             | 1,0                     | 29x20                                     |
|  | Л7Ф         | 10,561           | 1,0                     | 38x6                                      |
|  | Л8Д         | -11,141          | 1,0                     | 26x31                                     |
|  | Л9Ф         | 13,0             | 1,0                     | 62x28                                     |
|  | Л10Д        | -12,0            | 1,0                     | 48x38                                     |
| Л11Ф   | 15,0        | 1,0              | 60x22                   |   |
| Дипольный<br>сверхпроводя-<br>щий магнит                 | М1Г         | 2,2547           | 1,5                     | 34x17                                     |
|  | М2В         | 1,7447           | 3,0                     | 34x12                                     |
| Дипольный<br>магнит                                      | М3Г         | 2,0              | 4,1                     | 60x35                                     |

## 5. КАНАЛ ВЫВОДА МВ-2

Канал вывода МВ-2 осуществляет транспортировку ускоренного пучка от нуклотрона до раздаточного магнита, который направляет пучок к экспериментальным установкам корп.1Б. На рис.5 представлен общий вид канала МВ-2. Параметры пучка на входе в канал МВ-2 идентичны параметрам на входе в канал МВ-1 (см. табл.3).

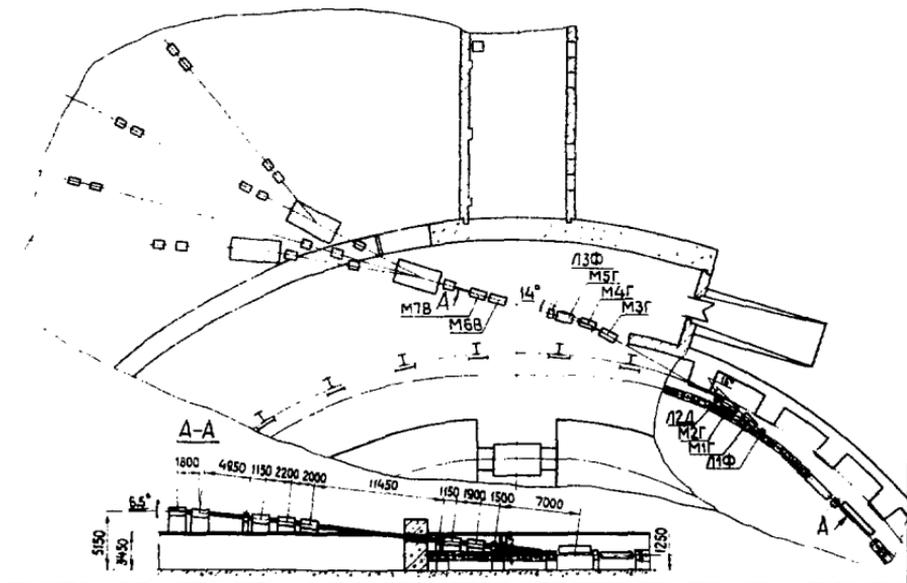
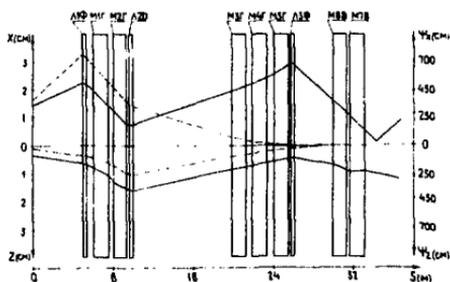


Рис.5. Общий вид канала вывода МВ-2.

Огибающие пучка и дисперсионные функции показаны на рис.6. Функционально этот канал разбит на два участка. На первом, представленном линзами Л1Ф и Л2Д, магнитами М1Г, М2Г, М3Г, М4Г, М5Г осуществляется сведение горизонтальной дисперсии на выходе из магнита М5Г на ноль. На втором линза фокусирует пучок в горизонтальной плоскости, а магниты М6В и М7В зануляют вертикальную дисперсию.

Рис.6. Огибающие пучка и дисперсионные функции в горизонтальной и вертикальной плоскостях в канале МВ-2.



Параметры элементов канала и величины огибающей пучка представлены в табл.5. Характеристика пучка на расстоянии 4 мм от выхода из магнита М7В представлены в табл.6.

Таблица 5

| Наименование                             | Обозначение | G, Тл/м<br>В, Тл | Эффективная<br>длина, м | Размер пучка<br>Xxz, мм <sup>2</sup> |
|--|-------------|------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| Магнитная                                | Л1Ф         | 27,67            | 0,4                     | 34x12                                |
| квадрупольная                            | Л2Д         | -21,22           | 0,4                     | 14x32                                |
| сверхпроводя-<br>щая линза               | Л3Ф         | 20,0             | 0,4                     | 58x 9                                |
| Дипольный<br>сверхпроводя-<br>щий магнит | М1Г         | 4,0265           | 1,5                     | 40x21                                |
|  | М2Г         | 4,0265           | 1,5                     | 25x30                                |
|  | М3Г         | 2,5054           | 1,5                     | 38x17                                |
|  | М4Г         | 2,5054           | 1,5                     | 48x14                                |
|  | М5Г         | 2,5054           | 1,5                     | 57x12                                |
|  | М6В         | 1,7448           | 1,5                     | 33x18                                |
|  | М7В         | 1,7448           | 1,5                     | 11x19                                |

Таблица 6

| $\beta_x$ , м | $\beta_z$ , м | $a_x$ | $a_z$ | $\psi_x$ , м | $\psi_z$ , м | $\psi_x'$ , рад | $\psi_z'$ , рад |
|---------------|---------------|-------|-------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|
| 15,31         | 51,34         | -6    | -3    | 0            | 0            | 0               | 0               |

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Baldin A.M. et al. Proc. 1983 Particle Accelerator Conf., IEEE Trans.Nuc. Sci., NS-30, No.4, 1983, p.3247.
2. Василюшин Б.В. и др. ОИЯИ, 10-80-497, Дубна, 1980.
3. Базылев С.Н. и др. ОИЯИ, 10-80-169, Дубна, 1980.
4. Василюшин Б.В. и др. ОИЯИ, 10-80-169, Дубна, 1980.
5. Сеннер А.Е. ОИЯИ, 10-82-141, Дубна, 1982.
6. Сеннер А.Е. ОИЯИ, 10-82-142, Дубна, 1982.

Рукопись поступила в издательский отдел  
20 ноября 1986 года.

## Расчет каналов транспортировки пучков нуклотрона

Приведены общий вид и основные параметры каналов транспортировки пучков нуклотрона. Выбранная схема позволяет осуществлять инжекцию тяжелых ионов с энергией 5 МэВ/нуклон и медленный вывод в широком диапазоне энергий по существующим на синхрофазотроне направлениям. Размещение кольца нуклотрона на отметке - 3,9 м по высоте относительно имеющихся установок потребовало разработки систем транспортировки с поворотом пучка в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Описана интерактивная программа и проведенные с ее помощью расчеты каналов. Канал инжекции предназначен для транспортировки пучка из линейного ускорителя в нуклотрон и включает в себя 10 квадрупольных линз, градиенты в которых  $G < 5$  Тл/м, и 2 дипольных магнита. Максимальный размер пучка в канале 72 мм. Каналы МВ-1 и МВ-2 осуществляют транспортировку пучка от нуклотрона до существующих каналов в экспериментальных корпусах. Они включают в себя соответственно 11 и 3 квадрупольные линзы ( $G \approx 34$  Тл/м) и 3 и 7 дипольных магнитов. Размеры пучков в каналах не превышают 62 мм.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединяемого института ядерных исследований. Дубна 1986

## Перепод О.С.Виноградовой

## Design of the Nuclotron Beam Transport Channels

A general view and main parameters of the nuclotron beam transport lines are presented. The chosen scheme makes it possible to realize the injection of heavy ions with 5 MeV/nucleon energy and slow extraction over a wide range in the existing directions of the synchrophasotron. Since the ring of the nuclotron is placed at -3.9 m level relatively to the equipment available, the beam transport lines must be with horizontal and vertical bends of the beam. The interactive computer program and calculations of the channels performed by means of it are presented. The injection line is intended for beam transport from the linac to nuclotron and includes 10 quadrupole lenses with  $G < 5$  T m gradients and 2 dipole magnets. The maximum size of the beam in channel is 72 mm. The SE1 and SE2 lines transport the beam from the nuclotron to existing channels, in the experimental halls. They include 11 and 3 quadrupole lenses ( $G \approx 34$  T/m), respectively, 3 and 7 dipole magnets. The beam sizes in the channels are less than 62 mm.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986

Редактор Е. К. Аксенова. Макет Н. А. Киселевой.  
Набор Л. В. Пахомовой.

Подписано в печать 05.12.86.

Формат 60x90/16. Офсетная печать. Уч.-изд. листов 0,79.

Тираж 215. Заказ 38458.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований,  
Дубна Московской области.