

сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

P9-85-287

Б.В.Василишин, В.И.Волков, И.И.Куликов

ИЗМЕРЕНИЕ ЭМИТТАНСА ПУЧКА  
В КАНАЛЕ МЕДЛЕННОГО ВЫВОДА

1985

Измерение эмиттансных характеристик пучка в канале медленного вывода производится в рамках автоматизированной системы контроля и управления параметрами вывода на базе ЭВМ ЕС-1010. Методика измерений основана на предположении об эллиптической форме фазового портрета пучка. Исходными данными служат индукция главного магнитного поля ускорителя, при которой производится вывод пучка, токи в элементах магнитной оптики канала транспортировки, размеры пучка в трех точках трассы вывода. Результаты измерений используются для расчетов, наладки и оптимизации режимов транспортировки пучка к экспериментальным физическим установкам.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1985

Перевод О.С.Виноградовой

Vasilishin B.V., Volkov V.I., Kulikov I.I.

P9-85-287

Beam Emittance Measurement in Slow Extraction  
Transport Line

Beam emittance characteristics measurement in the slow extraction transport line is realized with the help of a control system based on ES-1010 computer. Method of measurements is found on the assumption of beam phase diagram elliptical shape. Initial data are the guide magnetic field induction during the beam extraction, currents in the beam transport line elements and beam sizes at three points of the extraction route. The measurement results are used for calculations, tuning and optimization of beam transport to experimental physical installations.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1985

Измерение эммитансных характеристик пучка в канале медленного вывода <sup>/1/</sup> производится в рамках автоматизированной системы контроля и управления параметрами вывода на базе ЭВМ ЕС-1010 <sup>/2/</sup>. Методика измерений основана на предположении об эллиптической форме фазового портрета пучка <sup>/3/</sup>:

$$yq^2 + 2\alpha qq' + \beta (q')^2 = \epsilon, \quad /1/$$

где  $\epsilon$  - эммитанс пучка;  $q$  - любая из поперечных координат  $x$  или  $y$ ;  $\alpha, \beta, \gamma$  - параметры фазового эллипса, определяющие его форму и ориентацию.

На первом этапе определяются параметры  $\alpha_0, \beta_0, \gamma_0$  в начальной точке канала внешней транспортировки и эммитанс выведенного пучка. В произвольной точке канала:

$$\begin{pmatrix} \beta \\ \alpha \\ \gamma \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M_{11}^2 & -2M_{11}M_{12} & M_{12}^2 \\ -M_{11}M_{21} & M_{11}M_{22} + M_{12}M_{21} & -M_{12}M_{22} \\ M_{21}^2 & -2M_{21}M_{22} & M_{22}^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \alpha_0 \\ \gamma_0 \end{pmatrix} /2/$$

где  $M_{ij}$  - элементы матрицы перехода от начальной до рассматриваемой точки. Линейные огибающие пучка определяются выражением  $w = \sqrt{\beta\epsilon}$ .

Оперативные измерения  $\alpha_0, \beta_0, \gamma_0, \epsilon$  и контроль получаемых результатов осуществляются с использованием диагностической аппаратуры, установленной на начальном участке канала внешней транспортировки выведенного пучка. Транспортировка пучка в этой части канала и его формирование в районе мишенной станции F3 /рис.1/ производится с помощью двух дублетов квадрупольных магнитных линз типа 20K100 /на рисунке 1÷4 K100/. Две последующие линзы типа 20K200 и 20K100 /на рисунке 11K200 и 5K100/ являются первыми элементами канала ВП-1 транспортировки пучка к физическим установкам экспериментального зала №205 <sup>/4,5/</sup>. Структура рассматриваемого участка ФД-ФД-ДФ-ФД в горизонтальной плоскости. Вдоль трассы размещены датчики пространственных характеристик пучка - многопроволочные ионизационные камеры /ПИК-1÷ПИК-5/<sup>/6/</sup>, подключенные к ЭВМ ЕС-1010. Начало отсчета выбрано на выходе пучка из ускорителя в месте расположения ПИК-1.

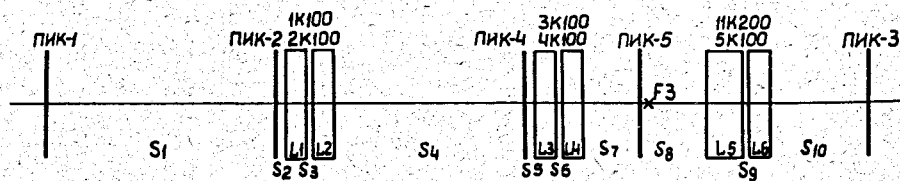


Рис.1. Схема начальной части канала транспортировки выведенного пучка.

Расчеты выполняются программой EMIT, работающей на четвертом уровне прерывания ЭВМ ЕС-1010. EMIT активизируется в каждом цикле ускорителя после подготовки другими программами обслуживания медленного вывода данных, необходимых для ее функционирования. Исходными данными служат индукция  $B$  главного магнитного поля ускорителя, при которой производится вывод пучка, токи в линзах в процессе вывода  $I_1$  и полуразмеры пучка /значения линейных огибающих/  $w_0$ ,  $w_1$ ,  $w_2$  в местах расположения ПИК-1, ПИК-2, ПИК-4. Соотношения

$$w_0^2 = \beta_0 \epsilon, \quad /3/$$

$$w_1^2 = (T_{11}^2 \beta_0 - 2T_{11} T_{12} \alpha_0 + T_{12}^2 \gamma_0) \epsilon, \quad /4/$$

$$w_2^2 = (Q_{11}^2 \beta_0 - 2Q_{11} Q_{12} \alpha_0 + Q_{12}^2 \gamma_0) \epsilon, \quad /5/$$

где  $T_{ij}$  и  $Q_{ij}$  - элементы матриц перехода от ПИК-1 до ПИК-2 и от ПИК-1 до ПИК-4, соответственно, вместе с нормировочным выражением

$$\beta_0 \gamma_0 - \alpha_0^2 = 1, \quad /6/$$

образуют систему четырех уравнений с четырьмя неизвестными  $\alpha_0$ ,  $\beta_0$ ,  $\gamma_0$ ,  $\epsilon$ . Матрицы (T) и (Q) имеют следующий вид /для горизонтальной плоскости/:

$$(T) = \begin{pmatrix} 1 & S_1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad /7/$$

$$(Q) = \begin{pmatrix} I & S_4 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{ch } F_2 & \frac{1}{\sqrt{K_2}} \text{sh } F_2 \\ \sqrt{K_2} \text{sh } F_2 & \text{ch } F_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & S_3 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos F_1 & \frac{1}{\sqrt{K_1}} \sin F_1 \\ -\sqrt{K_1} \sin F_1 & \cos F_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} S_2 & (1 \ S_1) \\ 0 & 1 \end{pmatrix} /8/$$

где  $F_1 = L_1 \sqrt{K_1}$ ,  $F_2 = L_2 \sqrt{K_2}$ ,  $K_1 = G_1 / BR$ ,  $K_2 = G_2 / BR$ ;  $G_1$  и  $G_2$  - градиенты магнитного поля линз 1K100 и 2K100, вычисленные по измеренным величинам токов с использованием паспортных характеристик линз типа 20K100;  $L_1$  и  $L_2$  - эффективные длины линз;  $BR$  - магнитная жесткость.

Из уравнений /3/÷/6/ определяются эмиттансы

$$\epsilon = \frac{1}{2} \left[ \frac{2w_0^2 w_1^2}{T_{12}^2} + \frac{2w_0^2 w_2^2}{Q_{12}^2} + \frac{2w_1^2 w_2^2}{(T_{11} Q_{12} - T_{12} Q_{11})^2} - \frac{(T_{11} Q_{12} - T_{12} Q_{11})^2}{T_{12}^2 Q_{12}^2} \right] w_0^4 - \frac{Q_{12}^2}{T_{12}^2 (T_{11} Q_{12} - T_{12} Q_{11})^2} w_1^4 - \frac{T_{12}^2}{Q_{12}^2 (T_{11} Q_{12} - T_{12} Q_{11})^2} w_2^4 \quad /9/$$

и параметры  $\alpha_0$ ,  $\beta_0$ ,  $\gamma_0$ . В качестве полуразмеров пучка берутся величины  $2\sigma / \sigma$  - параметр нормального распределения плотности пучка в поперечном направлении, что соответствует содержанию в фазовых эллипсах  $\approx 95\%$  частиц пучка. Информация о результатах измерений в каждом цикле ускорителя выводится на алфавитно-цифровой дисплей или АЦПУ /рис.2/. Контроль статистической устойчивости результатов измерений осуществляется с помощью программы, производящей накопление и вывод на экран графического дисплея гистограмм распределений циклов ускорителя по значениям эмиттанса выведенного пучка. На рис.3 представлены данные, накопленные за  $\sim 750$  циклов ускорителя в режиме вывода пучка на главном поле 1,07 Т. По вертикали отложены частоты реализаций величин эмиттанса /слева горизонтального, справа - вертикального/, отмеченных на нижних шкалах. Значения эмиттанса пучка в рассматриваемом режиме вывода составляют  $\epsilon_x = /25 \pm 2/ \pi$  мм.мрад,  $\epsilon_y = /37 \pm 3/ \pi$  мм.мрад /указаны среднеквадратичные отклонения/.

Получаемая на рассмотренном выше этапе функционирования программы EMIT информация о реальных характеристиках выведенного пучка представляет широкие возможности для оперативного моделирования, наладки и оптимизации различных режимов транспортировки пучка к физическим установкам. Реализация одной из них иллюстри-

B=10700 GS			
	X-BEAM WIDTH(MM)	Y-BEAM WIDTH(MM)	
VIC-1	.1806 E+02	.2063 E+02	
VIC-2	.2592 E+02	.3198 E+02	
VIC-4	.3199 E+02	.2134 E+02	
LENSES CURRENTS(A)			
1K100-	1607	2K100-	1879
3K100-	3416	4K100-	4084
EXTRACTED BEAM EMITTANCE (MM*MRAD)			
HORIZONTAL +.2521144 E+02			
ALPHA0	--.6797409 E-01	BETA0	+.1294000 E+04
VERTICAL +.4011943 E+02		GAMMA0	
ALPHA0	--.1108896 E-01	BETA0	+.1061179 E+04
		GAMMA0	
		+.9424623 E-03	

Рис.2. Форма представления информации о параметрах пучка на АЦПУ.

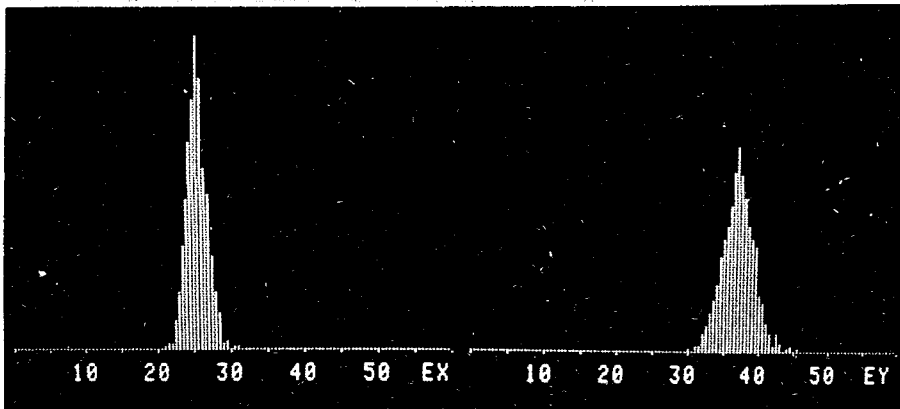


Рис.3. Гистограммы распределений циклов вывода пучка по значениям эмиттанса.

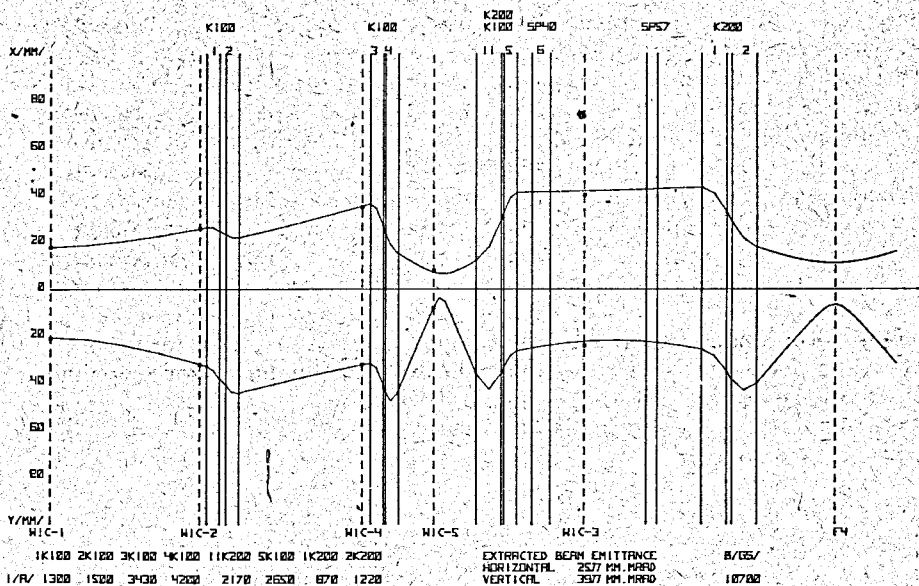


Рис.4. Линейные огибающие пучка.

руется рис.4, на котором представлены рассчитанные и выведенные программой EMIT на графопостроитель линейные огибающие пучка /в верхней части рисунка горизонтальная, в нижней - вертикальная/ от места расположения ПИК-1 до мишенной станции F4 в экспериментальном зале №205 /магниты, обозначенные на рисунке,

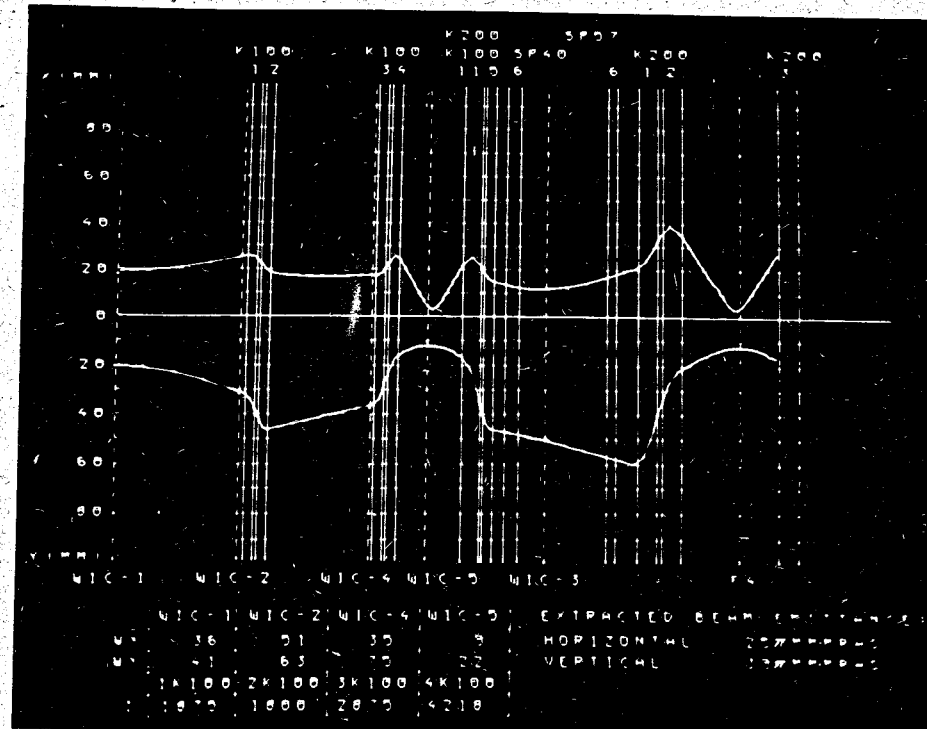


Рис.5. Форма представления информации на экране графического дисплея.

SP40 и SP57, выводят пучок на ось канала ВП-1 в горизонтальной плоскости, линзы 1 и 2 /K200/ формируют кроссовер в F4, остальные обозначения соответствуют рис.1/.

Результаты расчетов могут также выводиться по желанию оператора на экран графического дисплея в каждом цикле ускорителя /см. рис.5, отображающий один из вариантов транспортировки пучка для структуры канала ФД-ДФ-ФД-ДФ, и на рис.6, где приведены фазовые эллипсы пучка в точках расположения ПИК-1,2,4,5/. Вычисленные значения огибающих производится в 85 точках канала. Длины отрезков разбиений трассы вывода выбраны с учетом характерных особенностей огибающих пучка на различных ее участках. Критерием достоверности получаемых результатов служит соответствие рассчитанных в точках расположения ПИК-5 и ПИК-3 значений огибающих величинам, измеренным с помощью этих датчиков.

Программа EMIT занимает объем памяти =20 К слов, ее расчетная часть реализована на языке фортран, а подпрограммы приема и вывода информации - на языке ассемблер ЭВМ ЕС-1010. Применение техники перекрытий при компоновке программы позволило обес-

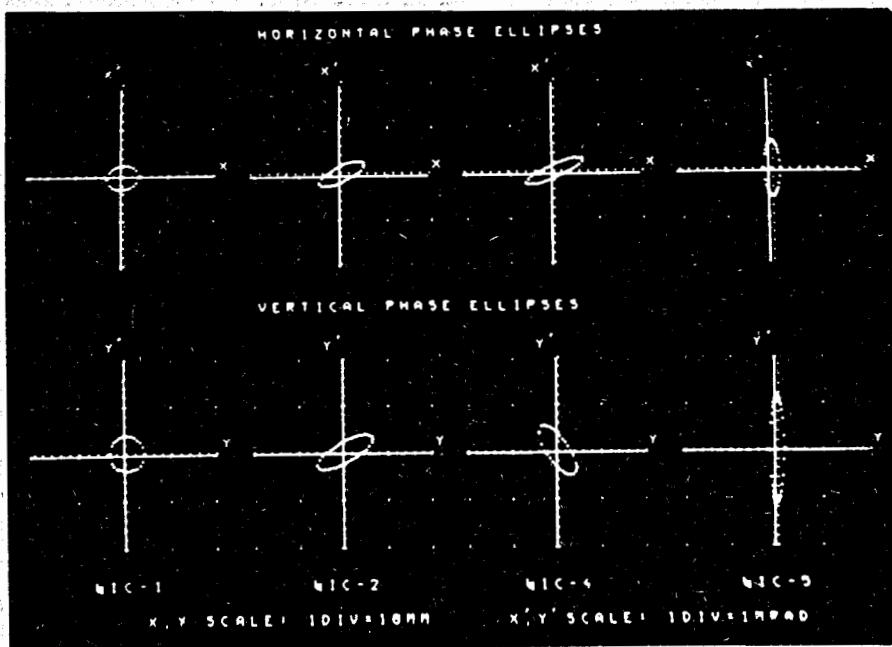


Рис.6. Фазовые эллипсы пучка.

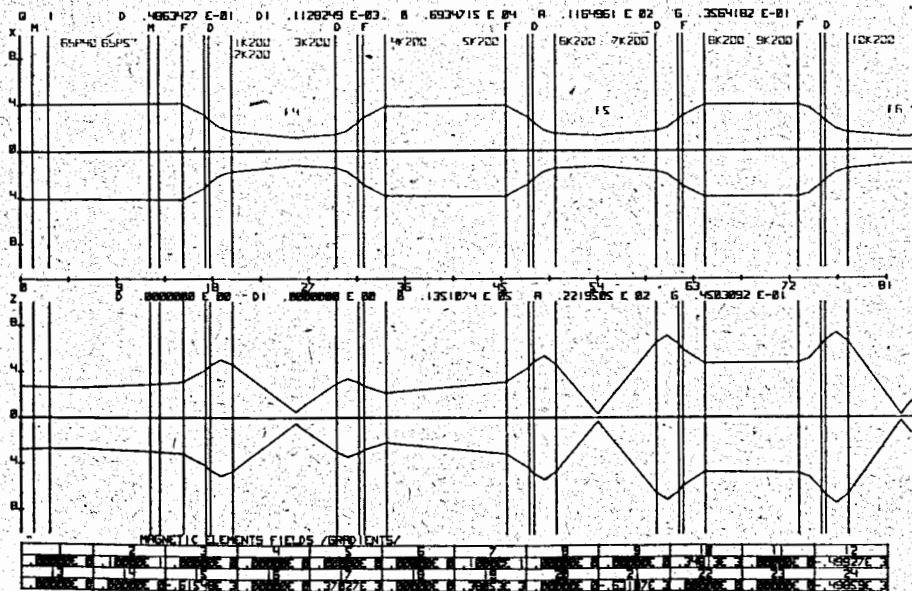


Рис.7. Линейные огибающие пучка в канале ВП-1.

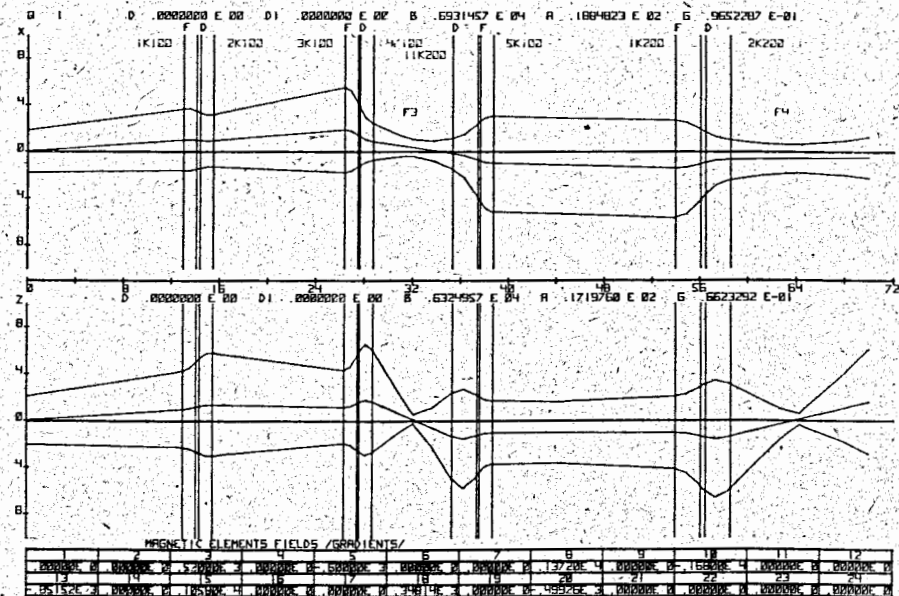


Рис.8. Осевые траектории и огибающие пучка в начальной части канала. Ось пучка на выходе из ускорителя отклонена на 4 мрад от оптической оси канала.

печить совместное функционирование EMIT и основных программ обслуживания медленного вывода, благодаря чему достигнута максимальная оперативность измерений.

Результаты измерений параметров пучка на выходе из ускорителя могут быть использованы для моделирования режимов транспортировки по всей трассе вывода с помощью созданной на ЭВМ ЕС-1010 интерактивной программы расчета каналов транспортировки<sup>18/</sup>. На рис.7 представлен один из вариантов транспортировки пучка по каналу ВП-1 /в верхней части рисунка приведены горизонтальные, в нижней - вертикальные огибающие пучка/. Возможен анализ ситуаций, заключающихся в отклонении осевой траектории пучка от оптической оси канала транспортировки вследствие неоптимальных режимов работы магнитов внутренней транспортировки пучка, корректирующих элементов в начальной части канала, магнитов согласования начальной части канала с ВП-1 и т.д. На рис.8 /начальная часть канала/ и рис.9 /канал ВП-1/ показаны осевые траектории и линейные огибающие пучка для случая, соответствующего отклонению оси пучка на выходе из ускорителя на  $\approx 4$  мрад от оптической оси канала в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

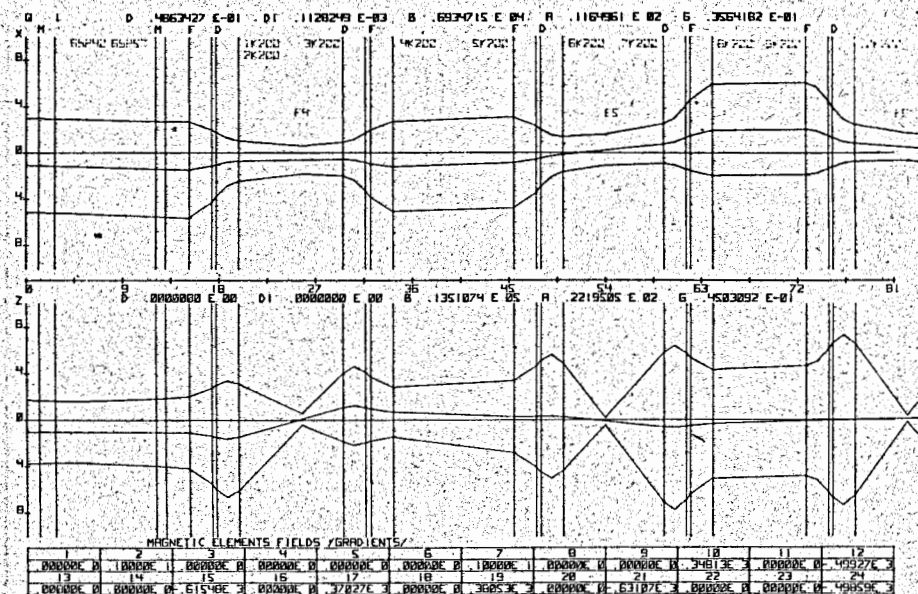


Рис.9. Осевые траектории и огибающие пучка в канале ВП-1. Ось пучка на выходе из ускорителя отклонена на 4 мрад от оптической оси канала.

В заключение авторы выражают благодарность Л.П.Зиновьеву, И.Б.Иссинскому, С.А.Новикову, И.Н.Семенюшкину за поддержку и содействие данной работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Василишин Б.В. и др. ОИЯИ, Р9-6973, Дубна, 1973.
2. Волков В.И. и др. В кн.: Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. ОИЯИ, Дубна, 1982, т.2, с.268.
3. Котов В.И., Миллер В.В. Фокусировка и разделение по массам частиц высоких энергий. Атомиздат, М., 1969.
4. Кириллов А.Д. и др. ОИЯИ, 9-9303, Дубна, 1975.
5. Василишин Б.В. и др. ОИЯИ, Б2-9-85-162, Дубна, 1985.
6. Волков В.И., Куликов И.И. ОИЯИ, 10-12498, Дубна, 1979.
7. Булдаковский В.Н. и др. ОИЯИ, 9-12149, Дубна, 1979.
8. Василишин Б.В. и др. ОИЯИ, 10-80-169, Дубна, 1980.

Рукопись поступила в издательский отдел  
22 апреля 1985 года.