

**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

Д 536

9-87-723

**В.П.Дмитриевский, Н.Л.Заплатин, В.В.Кольга,
Л.М.Онищенко, А.Ф.Чеснов, С.И.Чеснова**

**ВЛИЯНИЕ РАССЕЙАННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ,
ВЫПУСКНОЙ ДИАФРАГМЫ
И МНОГОКРАТНОГО РАССЕЙАНИЯ НА ГАЗЕ
НА ПАРАМЕТРЫ ВЫВЕДЕННОГО ПУЧКА
ИЗ ФАЗОТРОНА ОИЯИ**

1987

В фазотроне ОИЯИ^{1/1} выведенный пучок протонов /рис.1/ проходит через выпускную диафрагму и с помощью элементов системы транспортировки /поворотный магнит СП-35 и дублет линз МЛ-3/ формируется на мезонообразующей мишени /точка F/. Перечисленные элементы тракта расположены в рассеянном магнитном поле фазотрона, а транспортировка пучка осуществляется в воздухе. Известно^{2,3/}, что параметры выведенного пучка /энергия, плотность интенсивности, размер, угловая расходимость/ могут значительно изменяться при наличии локальных и протяженных рассеивателей.

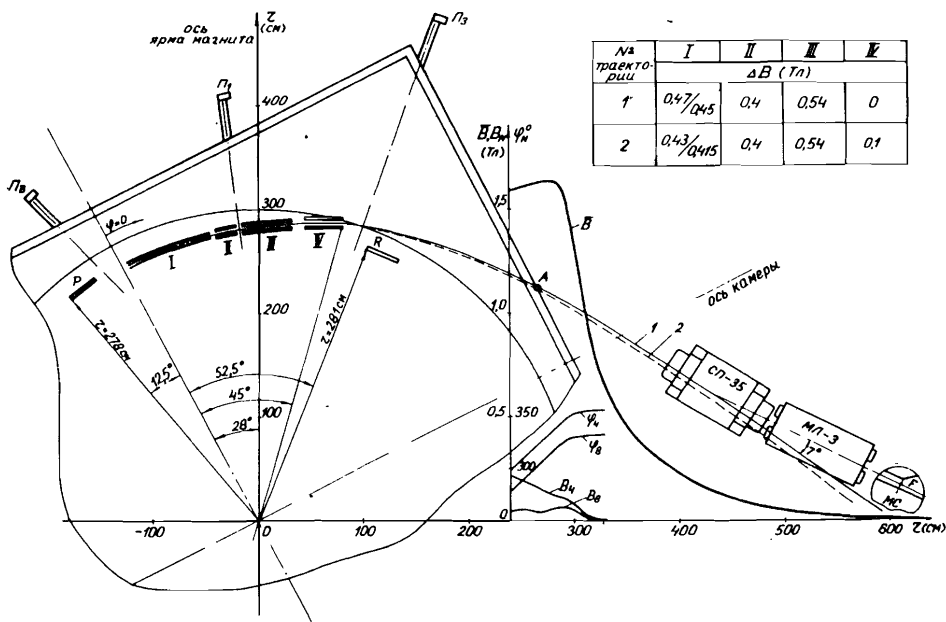


Рис.1. Схема расположения системы вывода пучка в камере ускорителя, элементов протонного тракта и характеристики магнитного поля / \bar{B} - среднее поле; B_4 , B_8 , ϕ_4 , ϕ_8 - четвертая и восьмая гармоники и их фазы/ в области расположения этих элементов. Р - возбуждатель, R - регенератор, I-IV - секции железно-токового канала, П_В, П₁, П₃ - пробники, СП-35 - поворотный магнит, МЛ-3 - дублет квадрупольных линз, МС - мишенная станция, 1,2 - выводные траектории осевой частицы для величин снижения магнитного поля / ΔB / в секциях отклоняющего канала, приведенных в таблице.

В данной работе приводятся результаты численного расчета эмиттансов пучка с энергией протонов $664 \pm 3,2$ МэВ^{4/} с учетом дисперсии от рассеянного магнитного поля фазотрона и кулоновского рассеяния на выпускной диафрагме и ионизационной камере, имеющих общую толщину ~ 500 мкм /алюминий/, и воздушном промежутке длиной $\sim 4,5$ м. Потери энергии выведенного пучка, составляющие $\sim 0,3$ МэВ для локальных и ~ 1 МэВ для протяженных рассеивателей, в расчете не учитывались.

Для учета совместного действия на параметры выведенного пучка фокусирующих сил и многократного кулоновского рассеяния была составлена программа на ЭВМ, в которой на каждом линейном элементе тракта проводки длиной ℓ фазовый эллипсоид пучка описывается матрицей^{3/}

$$\sigma_1 = R \cdot \sigma_0 \cdot R^T + A, \quad /1/$$

где R - матрица перехода в рассеянном магнитном поле фазотрона; σ_0 - двумерная начальная матрица, характеризующая свойства пучка на входе в элемент транспортировки; R^T - транспонированная матрица перехода. Матрица рассеяния A имеет вид:

$$A = \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{K} \cdot S - \sin \sqrt{K} \cdot S \cdot \cos \sqrt{K} \cdot S}{\omega^2 \cdot K^{3/2}} & \frac{\sin^2 \sqrt{K} \cdot S}{\omega^2 K} \\ \frac{\sin^2 \sqrt{K} \cdot S}{\omega^2 K} & \frac{\sqrt{K} \cdot S + \sin \sqrt{K} \cdot S \cdot \cos \sqrt{K} \cdot S}{\omega^2 \sqrt{K}} \end{pmatrix}, \quad /2/$$

где $S = \rho \cdot \ell$, ρ - плотность вещества, $\omega^2 = \frac{4}{\langle \theta^2 \rangle}$. Среднеквадратичный

угол многократного рассеяния на единицу длины пути $\langle \theta^2 \rangle$ зависит от импульса и скорости частицы (P , βc), радиационной длины (X_0) вещества рассеивателя и, в предположении отсутствия потерь энергии, определяется из выражения^{5/}

$$\langle \theta^2 \rangle = \left(\frac{21,2}{\beta c P} \right)^2 \cdot \frac{1}{X_0}. \quad /3/$$

Величина K , характеризующая ионно-оптические свойства рассеянного магнитного поля фазотрона, вычисляется для каждого элемента тракта проводки по формулам:

$$K_x = \frac{1-n}{R_k^2}; \quad K_z = \frac{n}{R_k^2}, \quad /4/$$

где n - показатель спада магнитного поля, R_k - радиус кривизны осевой траектории.

В отсутствие магнитного поля /при $K \rightarrow 0$ / из выражения /2/ получается матрица рассеяния для дрейфа, соответствующая известным соотношениям Ферми для дрейфового промежутка при наличии кулоновского рассеяния^{5/}:

$$A = \begin{pmatrix} \frac{2S^3}{3\omega^2} & \frac{S^2}{\omega^2} \\ \frac{S^2}{\omega^2} & \frac{2S}{\omega^2} \end{pmatrix}. \quad /5/$$

Используя матрицу дрейфового промежутка, можно оценить изменение линейной и угловой координаты частицы заданной энергии при наличии рассеивателя:

$$\Delta x = \frac{2S^3}{3\omega^2} = \frac{1}{2} \frac{\langle \theta^2 \rangle S^3}{3},$$

/6/

$$\Delta x' = \frac{2S}{\omega^2} = \frac{1}{2} \langle \theta^2 \rangle S.$$

Величина магнитного поля и его градиент вдоль выводной траектории пучка определялись из расчетов траекторий по уравнениям движения с использованием распределения магнитного поля фазотрона, приведенного на рис.1. Дисперсия и огибающие рассчитывались с использованием линейной матричной теории^{6/}. Наличие дисперсии от рассеянного магнитного поля ускорителя для немонахроматического выведенного пучка $\Delta E = \pm 3,2$ МэВ приводит к увеличению горизонтальной огибающей /рис.2/. Как видно из рисунка, влияние дисперсии /кривая 3/ в области отклоняющего канала пренебрежимо мало /величина D на выходе из канала составляет $0,55$ м/. На входе в отклоняющий магнит системы транспортировки размеры горизонтальной огибающей и угловой расходимости пучка увеличиваются приблизительно в $1,8$ раза /кривые 2/ по сравнению с монохроматическим пучком /кривые 1/. По расчетному значению дисперсии можно оценить диапазон импульсов, который может быть пропущен через отклоняющий канал. Если принять, что выходная радиальная апертура канала составляет $2a_r = 2,6$ см, а максимальный горизонтальный полуразмер пучка $x_{\max} = 0,875$ см, то

$$\frac{\Delta P}{P} \approx \frac{a_r - x_{\max}}{D} = \pm 7,73 \cdot 10^{-3}.$$

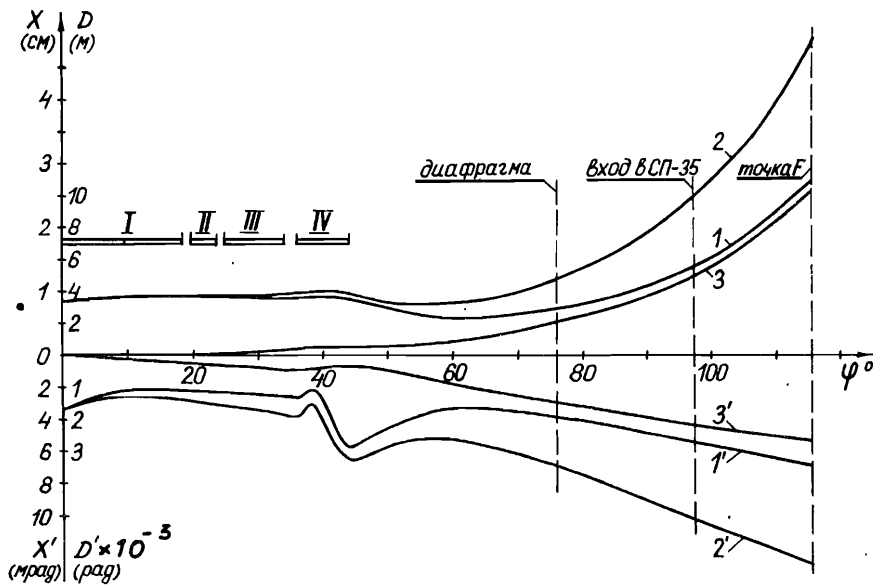


Рис.2. Горизонтальные огибающие вдоль выводной траектории 1 /рис.1/ для моноэнергетического пучка протонов с энергией 664 МэВ /кривые 1, 1'/ и с энергетическим разбросом $\pm 3,2$ МэВ /кривые 2, 2'/ при отсутствии рассеивателей, 3, 3' - дисперсия и ее производная для сформированного магнитного поля фазотрона.

Таким образом, магнитный канал является сепаратором, пропускающим ускоренные протоны с разбросом по энергии $\Delta E \approx 8$ МэВ. Расчетные эффективные горизонтальный и аксиальный эмиттансы (ϵ_x, ϵ_z) для немоноэнергетического выведенного пучка / $\Delta E = \pm 3,2$ МэВ/ на входе в канал, выходе из ускорительной камеры, входе в СП-35 и в точке фокуса без учета кулоновского рассеяния и выключенном дублете линз МЛ-3 приведены в табл.1.

Изменение величин X- и Z-эмиттансов при наличии рассеивателей для моноэнергетического пучка протонов с энергией 664 МэВ и с разбросом по энергии $\pm 3,2$ МэВ показано на рис.3. Локальные рассеиватели /диафрагма и ионизационная камера/ увеличивают эмиттанс выведенного пучка в 1,18 раза /в 1,033 - по X- и в 1,093 - по Z-плоскостям соответственно/. При совместном воздействии локальных и протяженных рассеивателей поперечный фазовый объем для моноэнергетического пучка увеличивается в точке фокуса в 2,8 раза /в 2 - по X- и в 1,4 - по Z-плоскостям соответственно, кривые 1,2/. Кривая 3 характеризует из-

Таблица 1. Величины эффективных эмиттансов пучка для $\Delta E = \pm 3,2$ МэВ вдоль выводной траектории при отсутствии рассеивателей

Эмиттансы		ϵ_x / ϵ_z	π см·град
Вход в канал	Диафрагма	Вход в СП-35	Точка фокуса
2,0	3,55	4,03	4,35
2,0	2,0	2,0	2,0

менение горизонтального эффективного эмиттанса выведенного пучка протонов с разбросом по энергии $\pm 3,2$ МэВ. Положение фазовых эллипсов для моноэнергетического выведенного пучка протонов и с разбросом по энергии $\pm 3,2$ МэВ в различных местах тракта транспортировки показаны на рис.3б, в. Из приведенных кривых видно, что при транспортировке пучка в воздухе и выключенном дублете линз МЛ-3 величины радиального и аксиального эмиттансов в точке фокуса /мишенная станция/ будут, соответственно, равны 7,0 и 2,9 π см·град. Наличие локальных и протяженных рассеивателей приводит к увеличению эффективных X-

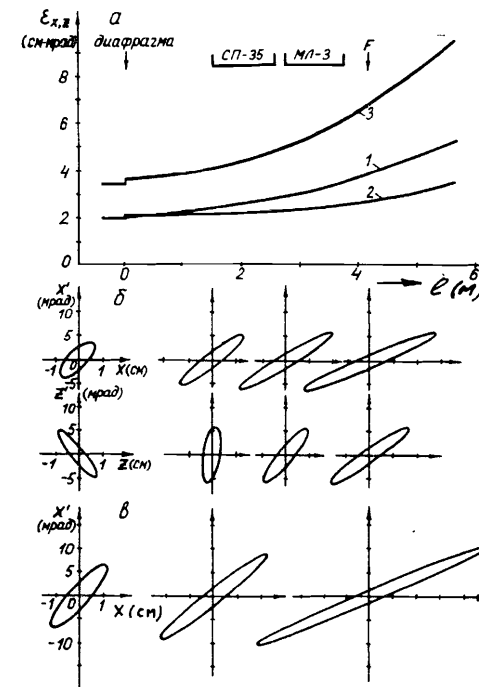


Рис.3. Влияние локальных и протяженных рассеивателей на качество выведенного пучка: а - изменение горизонтального /1/ и аксиального /2/ эмиттансов свободных колебаний для моноэнергетического выведенного протонного пучка и эффективного горизонтального эмиттанса /3/ с разбросом по энергии $\pm 3,2$ МэВ; б - фазовые эллипсы в различных местах тракта проводки для моноэнергетического выведенного пучка; в - фазовые эллипсы с учетом разброса по энергии $\pm 3,2$ МэВ.

и Z-эммитансов в 1,61 и 1,45 раза соответственно, по сравнению с транспортировкой выведенного протонного пучка в вакууме /табл.1/.

Экспериментально измеренные параметры выведенного пучка^{/7/} из фазотрона ОИЯИ согласуются с результатами расчета /табл.2/.

Таблица 2. Параметры выведенного протонного пучка из фазотрона ОИЯИ

Наименование параметров	Расчетные	Экспериментально измеренные ^{/7/}
Энергия протонов, МэВ	664	659±6
Энергетический разброс, МэВ	±3,2	±/3,1±0,8/
Эффективные эммитансы	$\epsilon_x = 7,0$	$\epsilon_x = 6,9 \pm 1,4$
в точке фокуса π см·мрад	$\epsilon_z = 2,9$	$\epsilon_z = 3,3 \pm 0,8$

Полученные результаты численных расчетов и работы по оптимизации каналов разводки выведенного протонного пучка из фазотрона ОИЯИ указывают на необходимость транспортировки пучка в вакууме на всем протяжении тракта от выпускного окна ускорительной камеры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Василенко А.Т. и др. В сб.: Труды X Всесоюзн.сов. по ускорителям заряженных частиц. ОИЯИ, Д9-87-107, Дубна, т.2, с.228.
2. Allardyce B. et al. In: Proc. 7-th Int.Cycl.Conference. Zürich, 1975.
3. Абросимов Н.К., Перский М.С., Рябов Г.А. В сб.: Труды IX Всесоюзн.сов. по ускорителям заряженных частиц. ОИЯИ, Дубна, 1985, т.1, с.352.
4. Ворожцов С.Б. и др. ОИЯИ, Р9-84-594, Дубна, 1984.
5. Росси Б. Частицы больших энергий. М.: ГИТЛ, 1958.
6. Штеффен К. Оптика пучков высоких энергий. М.: Мир, 1969.
7. Абазов В.М. и др. ОИЯИ, 9-87-322, Дубна, 1987.

Рукопись поступила в издательский отдел
2 октября 1987 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р.55 к.
Д2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р.00 к.
Д13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р.50 к.
Д2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р.30 к.
Д1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р.50 к.
Д10,11-84-818	Труды V Международного совещания по проблемам математического моделирования, программирования и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1983.	3 р.50 к.
Д17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. /2 тома/	7 р.75 к.
Д11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р.00 к.
Д13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1985.	4 р.80 к.
Д4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985.	3 р.75 к.
Д3,4,17-86-747	Труды V Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1986.	4 р.50 к.
	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984. /2 тома/	13 р.50 к.
Д1,2-86-668	Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1986. /2 тома/	7 р.35 к.
Д9-87-105	Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1986. /2 тома/	13 р.45 к.
Д7-87-68	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1986	7 р.10 к.
Д2-87-123	Труды Совещания "Ренормгруппа-86". Дубна, 1986	4 р.45 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу: 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79. Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.

ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Дмитриевский В.П. и др.

9-87-723

Влияние рассеянного магнитного поля, выпускной диафрагмы и многократного рассеяния на газе на параметры выведенного пучка из фазотрона ОИЯИ

Представлены результаты расчета эмиттанса пучка с энергией протонов $664 \pm 3,2$ МэВ. Учитывается дисперсия от рассеянного магнитного поля фазотрона и кулоновское рассеяние на выпускной диафрагме и ионизационной камере, имеющих общую толщину 500 мкм /алюминий/, и воздушном промежутке длиной 4,5 м. Показано, что эффективные горизонтальный и вертикальный эмиттансы выведенного пучка в точке фокуса /мишенная станция/ будут уменьшены, соответственно, в 1,6 и 1,5 раза при транспортировке в вакууме на всем протяжении тракта от выпускной диафрагмы ускорительной камеры фазотрона.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.
Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Перевод О.С.Виноградовой

Dmitrievskij V.P. et al.

9-87-723

Effect of Fringing Field, Exhaust Target and Multiple Scattering on a Gas on Parameters of the Beam Extracted out of the JINR Phasotron

The results of calculations of proton beam emittances for (664 ± 3.2) MeV energies is described. Magnet fringing field dispersion of the phasotron, Coulomb scattering at exhaust Al target and at ionization chamber having 500 mkm full thickness (aluminium) and drift-space 4.5 m long are taken into consideration. It is shown that the effective horizontal and vertical emittances of extracted beam will decrease 1,6 and 1.5 times in the focus point in the beam was transported in vacuum ion chamber from the accelerator to the target.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1987