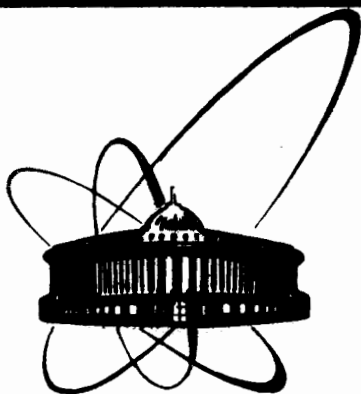


87-840



**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

9-87-840

В.П.Зорин, С.А.Кутузов, И.В.Мирохин,
Г.В.Мицын, А.Г.Молоканов, О.В.Савченко

**ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ
УЗКИХ ПУЧКОВ ПРОТОНОВ
С ЭНЕРГИЕЙ 660 МэВ ДЛЯ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ**

1987

ВВЕДЕНИЕ

При облучении мишеней размерами 5 - 10 мм (типичный размер при внутричерепных вмешательствах) обычно используются две методики — облучение пиком Брэгга протонного пучка и облучение напролет.

При облучении пиком Брэгга первоначально узкий пучок заметно расширяется в результате многократного кулоновского рассеяния. Так, для протонов, останавливающихся на глубине 10 см, среднеквадратичный радиус пучка в результате многократного рассеяния составляет 3 мм^{1/1/}. В результате расширения пучка с глубиной уменьшается отношение дозы в пике Брэгга к входной дозе.

Кроме того, для совмещения пика Брэгга с облучаемой мишенью необходимо с высокой точностью знать распределение плотности тканей, лежащих на пути пучка, а при подвижных способах облучения — и трехмерное распределение плотности.

При облучении методом напролет используются пучки протонов более высокой энергии. Они значительно слабее рассеиваются, при их использовании не требуется точная информация о распределении плотности тканей, расположенных до облучаемой мишени. Такие пучки могут эффективно использоваться для конвергентного облучения глубоко расположенных малых мишеней методом напролет.

Узкие пучки с энергией 1000 МэВ с успехом применяются на синхротроне ЛИЯФ АН СССР для облучения таких внутричерепных мишеней, как нормальный и опухолевый гипофиз, аневризмы сосудов головного мозга и др.^{2-4/}

В настоящей работе описывается метод получения узкого протонно-го пучка с энергией 660 МэВ в терапевтической кабине №3 клинического комплекса Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ и исследование его параметров.

КАНАЛ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПУЧКА

Канал должен обеспечить получение пучков протонов диаметром от 5 до 10 мм с мощностью дозы 1 - 10 Гр/мин при низком фоне вторичных частиц вне области пучка. Для формирования пучка в начальной части канала, общей с каналом для получения замедленных терапевтических протонных пучков, должны использоваться те же магнитооптические элементы. Коллимирование пучка должно осуществляться на большом

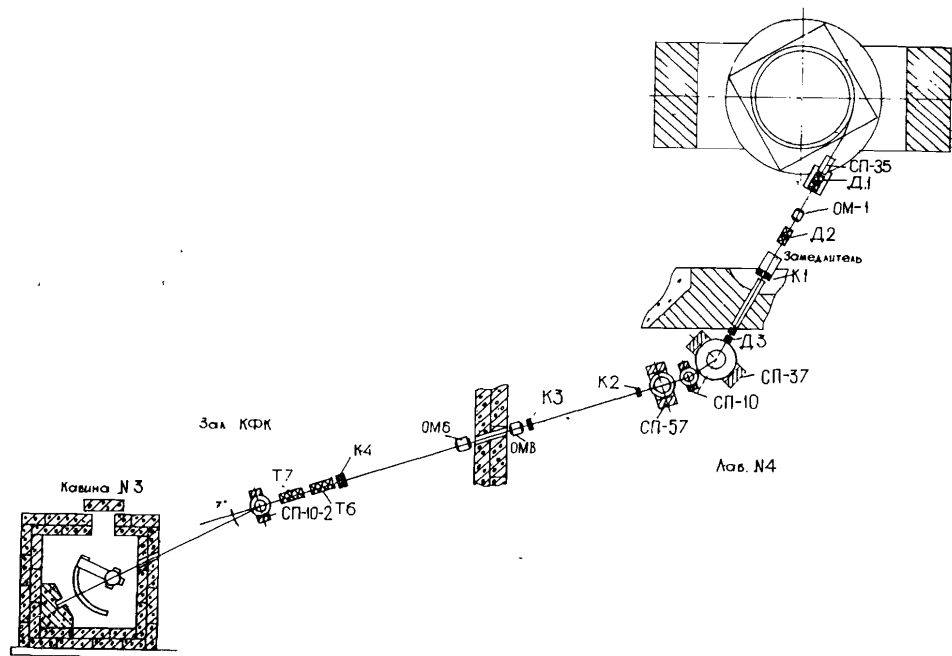


Рис. 1. Схема канала для формирования узких пучков протона.

удалении от облучаемого объекта-мишени, так как при коллимации пучка такой высокой энергии коллиimator становится сильным источником фона вторичных частиц.

Схема канала для формирования узких пучков в процедурном помещении №3 приводится на рис. 1. Выведенный из камеры фазотрона протонный пучок с помощью двух отклоняющих магнитов СП-35 и ОМ-1 и двух дублетов квадрупольных линз Д₁ и Д₂ фокусируется и направляется на коллиimator К₁, расположенный внутри защиты углеродного замедлителя^{/5/}. Три магнита, СП-37, СП-10 и СП-57, отклоняют пучок на углы 32°, 9,5° и 2,3° соответственно. Дублет квадрупольных линз Д₃ фокусирует пучок на коллиimator К₂, размеры которого определяют размеры поперечного сечения пучка в кабине. Коллиimator К₃ задает угловую апертуру пучка и обеспечивает защиту от фона вторичных частиц, образующихся в помещении лаборатории №4 фазотрона. Коллиimator К₄ служит для обрезания ореола пучка. Для очистки пучка от фона вторичных частиц предусмотрен поворот пучка в кабину №3 на угол 7° магнитом СП-10-2. Два квадрупольных триплета Т₆ и Т₇ фокусируют пучок в кабину №3 на центр стенда для подвижного облучения мишеней, образуя в этом месте изображение коллиматора К₂. Два магнита ОМ-6 и ОМВ предназначены для коррекции положения пучка на мишени в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Формирование и транспортировка пучка осуществляется в вакуумном канале, так как многократное кулоновское рассеяние в воздухе в десятки раз увеличивает поперечные размеры пучка, что делает невозможным его использование. Для быстрой смены коллиматора К₂ был оставлен воздушный промежуток длиной около одного метра.

Исследовалось влияние количества воздуха в канале на размеры пучка. Если в конечной части канала после К₂ содержится 5% воздуха, то пучок диаметром 5 мм расширяется до 1,5 - 2 см, при 10% — до 3 см.

Для измерения профилей пучка при транспортировке его по каналу использовался диодный ряд^{/6/} — система из 30 полупроводниковых диодов-детекторов, расположенных вдоль прямой линии с интервалом 6 мм. Данные о профиле пучка представляются в виде гистограммы на экране дисплея или распечатываются.

Измерения поперечного сечения пучка проводились миниатюрными полупроводниковыми детекторами, перемещаемыми под управлением ЭВМ. Результаты этих измерений представляются в виде изоуровней плотности потока протонов в поперечном сечении пучка, расположенных через каждые 10% от максимального значения.

Для определения формы поперечного сечения пучка проводилась экспозиция фотобумаги, после проявления которой на ней оставался радиоавтограф пучка. Однако этот метод может служить только для качественных наблюдений, так как не обеспечивает линейной зависимости от плотности потока протонов в пучке.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УЗКИХ ПРОТОННЫХ ПУЧКОВ

Размеры пучка на мишени определяются в основном размерами коллиматора К₂ и токами в триплетах Т₆ и Т₇.

На рис. 2 представлены результаты измерения уровней плотности потока протонов в поперечном сечении пучка в центре подвижного стенда. Ширина пучка по изоуровню 50% составляет около 5 мм. Справа на рисунке представлен радиоавтограф этого пучка, полученный на фотобумаге, в натуральную величину.

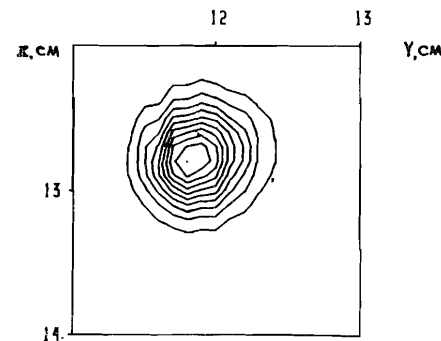


Рис. 2. Изоуровни поперечного сечения пучка диаметром 5 мм и радиоавтограф этого пучка.

Диаметр коллиматора K_2 при формировании такого пучка составлял 5 мм. Коллиматоры K_3 (круглый, диаметром 20 мм) и K_4 (диаметром 50 мм) обрезают ореол пучка. Токи в триплетах T_6 и T_7 подобраны таким образом, чтобы сечение пучка получалось круглым. В зависимости от формы облучаемой мишени пучок может быть получен и в форме эллипса.

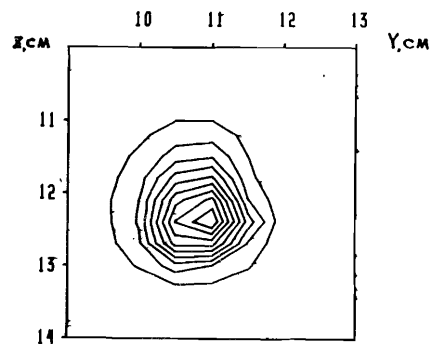


Рис. 3. Изоуровни поперечного сечения пучка диаметром 10 мм.

На рис. 3 представлены результаты измерения поперечного сечения более широкого пучка, диаметр которого по 50-процентному изоуровню составляет около 1 см. Диаметр коллиматора K_2 при формировании такого пучка составлял 20 мм и, таким образом, коллимирование пучка осуществлялось коллиматорами K_2 и K_3 (диаметром 20 мм). Ореол пучка обрезался коллиматором K_4 (диаметром 50 мм).

Мощности доз, получаемые в таких пучках, составляют по порядку величины 100 Гр/мин при токе выведенного из ускорителя пучка 1 мкА ($6,3 \cdot 10^{12}$ протонов/с), что позволяет работать при существенно сниженной интенсивности выведенного пучка ускорителя.

Одно из основных преимуществ при использовании пучков протонов таких высоких энергий для облучения глубоко расположенных мишеней — малое рассеяние пучка при прохождении им вещества.

Насколько малы эти изменения при прохождении узким пучком толщин, соответствующих облучению внутричерепных мишеней, можно определить, сравнивая изображенные на рис. 4 изодозные распределения пучка в горизонтальной плоскости, измеренные в воздухе и воде. Таким образом, при толщинах вещества, соответствующих облучению внутричерепных мишеней, ширина пучка в результате многократного кулоновского рассеяния в тканях, лежащих на пути пучка, практически не увеличивается.

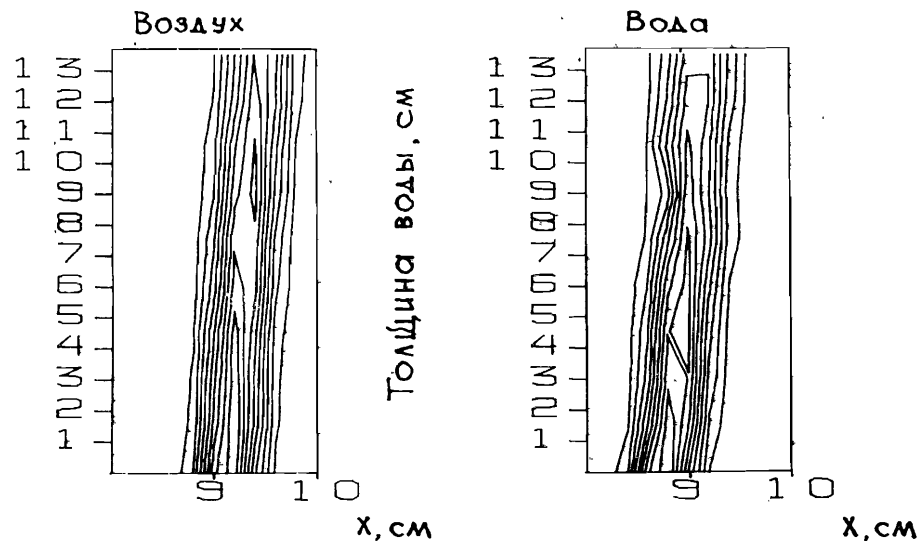


Рис. 4. Изодозные распределения пучка в горизонтальной плоскости в воздухе и воде.

ВЫВОДЫ

В процедурной кабине №3 клиничко-физического комплекса ЛЯП ОИЯИ сформированы узкие пучки протонов с энергией 660 МэВ с интенсивностью, достаточной для проведения на нем медико-биологических и клинических исследований. Исследованы основные параметры этих пучков в зависимости от размеров коллиматоров, рассеяние в воздухе и воде. Показана принципиальная возможность использования таких пучков для облучения малых внутричерепных мишеней методом напролет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гольдин Л.Л. и др. — УФН, 1973, т.110, вып.1, с.77.
2. Карлин Д.Л. и др. — Медицинская радиология, 1975, 20, 11, №7, 13.
3. Абросимов Н.К. и др. Препринт ЛИЯФ №723, Ленинград, 1981.
4. Абросимов Н.К. и др. — Медицинская радиология, 1987, 32, №8, 10.
5. Абазов В.М. и др. ОИЯИ, Р9-86-648, Дубна, 1986.
6. Густов С.А. ОИЯИ, 9-87-668, Дубна, 1987.

Рукопись поступила в издательский отдел
27 ноября 1987 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

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

D7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р.55 к.
D2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р.00 к.
D13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р.50 к.
D2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р.30 к.
D1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р.50 к.
D10,11-84-818	Труды V Международного совещания по проблемам математического моделирования, программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1983.	3 р.50 к.
D17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. /2 тома/	7 р.75 к.
D11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р.00 к.
D13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1985.	4 р.80 к.
D4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985.	3 р.75 к.
D3,4,17-86-747	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.
D1,2-86-668	Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1986. /2 тома/	7 р.35 к.
D9-87-105	Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1986. /2 тома/	13 р.45 к.
D7-87-68	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1986	7 р.10 к.
D2-87-123	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.

Зорин В.П. и др. 9-87-840
Получение и исследование узких пучков протонов с энергией 660 МэВ для лучевой терапии

Описывается канал для формирования и транспортировки узких пучков протонов диаметром 5-10 мм в кабину №3 клиничко-физического комплекса ЛЯП ОИЯИ. Исследованы основные параметры этих пучков, их рассеяние в воздухе и воде. Показана принципиальная возможность использования таких пучков для облучения внутричерепных мишеней методом напролет.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Перевод О.С.Виноградовой

Zorin V.P. et al. 9-87-840
Forming and Study of Narrow Proton Beams at 660 MeV for Radiation Therapy

A channel for forming and transport of narrow proton beams 5-10 mm in diameter in a box No.3 of clinical-physical complex of LNP, JINR is described. Main parameters of these beams, beam scattering in air and water are studied. A principal possibility of using these beams for radiation therapy of targets inside skull by "piercing" irradiation method is shown.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1987