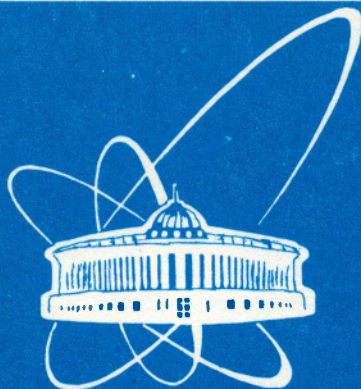


98-346



СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

98-346

P16-98-346

М.Зельчинский*, Н.Гольник*, В.Н.Гаевский, В.П.Зорин,
А.Г.Молоканов, С.В.Швидкий, Е.П.Череватенко

АМБИЕНТНАЯ ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ДОЗА
В КАБИНЕ ДЛЯ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ
ПРОТОНАМИ С ЭНЕРГИЕЙ 200 МэВ

*Институт атомной энергии, Свек, Польша

1998

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Клинико-физический комплекс Лаборатории ядерных проблем предназначен для лучевой терапии на пучках фазотрона ОИЯИ [1]. Процедура кабинета №1 оборудована для облучения пациентов со злокачественными опухолями пищевода, легких и области шеи. Поглощенная доза в опухоли за один сеанс облучения обычно составляет около 4 Гр, мощность дозы 1-4 Гр/мин. В связи с таким высоким уровнем доз требования радиационной безопасности исключают пребывание в кабине персонала во время облучения больного. Такой подход обоснованно выработан многолетней практикой радиотерапии на рентгеновских и гамма-установках. Однако специфика протонных пучков (определенный пробег, малое рассеяние) позволяет надеяться на значительно более низкий уровень ambientной эквивалентной дозы вне тела пациента по сравнению с пучками фотонного излучения.

Целью данной работы является количественная оценка радиационной обстановки в кабине №1 путём непосредственных измерений мощности ambientной эквивалентной дозы при облучении фантома протонами с энергией 200 МэВ.

2. МЕТОДИКА

В качестве детектора при измерении ambientной дозы использовалась рекомбинационная камера типа REM-2 [2] производства фирмы POLON (Польша), предоставленная Отделом радиационной безопасности ОИЯИ. Такой детектор позволяет измерять ambientную эквивалентную дозу $H^*(10)$, ambientную поглощенную дозу $D^*(10)$ и эффективный коэффициент качества Q смешанного излучения со сложным составом и широким энергетическим спектром без необходимости проведения спектральных измерений [3,4].

Пучок протонов с энергией около 200 МэВ, направленный в кабину №1 (рис. 1), проходил через мониторную камеру М и блок замедлителя переменной толщины 3, регулирующий энергию протонов, и с энергией 190 МэВ попадал на фантом Ф размерами 30x30x40 см³, заполненный водой, где полностью тормозился. Максимум поглощенной дозы (пик Брэгга) соответствовал геометрическому центру фантома. Диаметр пучка составлял около 5 см. Уровни изодоз в фантоме представлены на рис. 2. Рекомбинационная камера устанавливалась последовательно в точках А1-А3, находящихся соответственно на расстояниях 50, 100 и 230 см от центра фантома вдоль направления пучка, в точке А4 – на расстоянии 100 см в направлении, перпендикулярном пучку и в точке А5 – 100 см под углом 135° относительно оси пучка.

© Объединенный институт ядерных исследований. Дубна, 1998

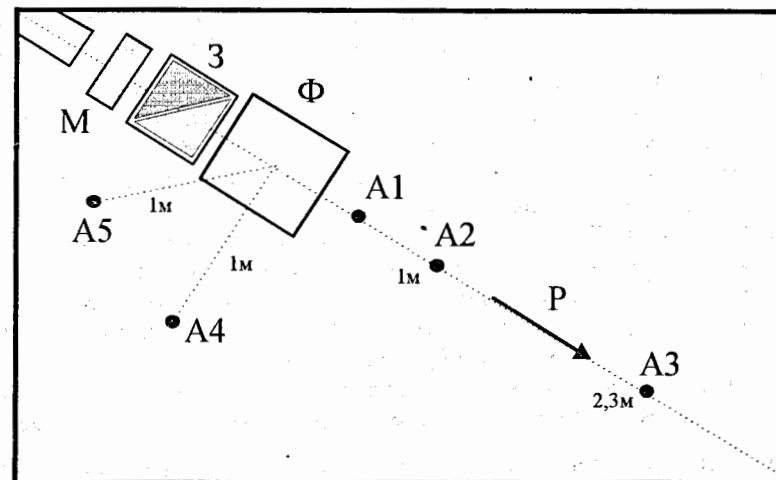


Рисунок 1. Расположение точек измерений в кабине №1.
М-мониторная камера, 3-блок замедлителя переменной толщины, регулирующий энергию протонов, Ф-фантом размерами 30x30x40 см³, заполненный водой, Р-протонный пучок

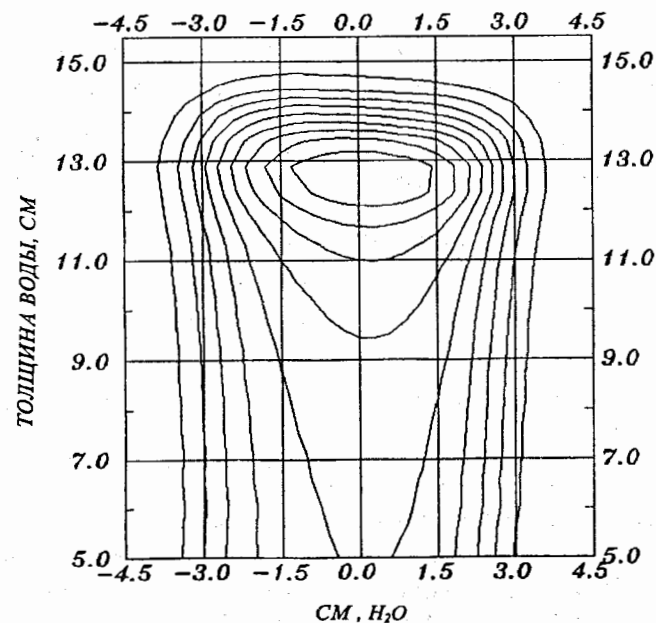
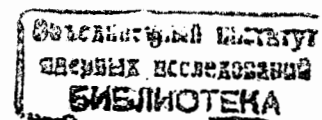


Рисунок 2. Изодозное распределение в фантоме



К поляризуемым электродам рекомбинационной камеры прикладывалось поочередно напряжение $U_s = 1200$ В, практически обеспечивающее режим насыщения, и напряжение $U_R = 41$ В, обеспечивающее режим локальной рекомбинации ионов, при котором эффективность сбора ионов в камере, облучаемой стандартным гамма-излучением, составляла 95,5% — в этом режиме коэффициент качества излучения является однозначной функцией эффективности сбора ионов [3,4].

Измерительные электроды рекомбинационной камеры подключались посредством 15-метрового электрометрического кабеля к электрометрическому усилителю с полной отрицательной обратной связью, работающему в режиме накопления (заряд собирался на емкость $C=1$ нФ). Как только напряжение U на выходе электрометра достигало 2,0 В, производился отсчет напряжения, отсчет интегрального показания монитора, а также, дополнительно, отсчет времени накопления заряда- Δt (это время обычно составляет несколько десятков секунд). Мощность поглощенной дозы в фантоме в пике Брэгга, D_{Br} , измерялась с помощью стандартной аппаратуры, используемой при радиотерапии.

Мощность ambientной поглощенной дозы определялась как

$$D^*(10) = ki(U_s),$$

где $i(U_s) = C(\Delta U / \Delta t)_s$ — ток рекомбинационной камеры в режиме насыщения, $k=360$ мкКл/Гр — чувствительность камеры, определенная посредством градуировки в поле стандартного источника гамма-излучения ^{137}Cs .

Мощность ambientной эквивалентной дозы определяется как произведение мощности ambientной поглощенной дозы и рекомбинационного параметра качества.

Рекомбинационный параметр качества [2,3] определялся по формуле

$$Q_R = \left(\frac{1}{1 - f_y(U_R)} \right) \left[1 - \frac{(\Delta U / M)_R}{(\Delta U / M)_s} \right],$$

где $f_y = 0,955$, $(\Delta U / M)_R, (\Delta U / M)_s$ — отношение показаний электрометра к показаниям монитора, соответственно, в режиме рекомбинации и в режиме насыщения.

В каждом режиме работы камеры измерения повторялись несколько раз с целью уменьшения статистической погрешности.

Рекомбинационный параметр качества Q_R численно практически равен коэффициенту качества излучения Q , что в данном случае (при $Q_R < 5$) справедливо [4,5] как по отношению к "старому" коэффициенту качества, определяемому согласно рекомендациям МКРЗ-21 [5], так и к "новому" коэффициенту качества, соответствующего рекомендациям МКРЗ-60 [6].

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Полученные результаты представлены в таблице. Во время измерений мощность поглощенной дозы в пике Брэгга изменялась в пределах 1,25÷1,44 Гр/мин. Мощность ambientной поглощенной дозы и мощность ambientной эквивалентной дозы, представленные в таблице, приведены к мощности поглощенной дозы в пике Брэгга $D_{Br} = 1$ Гр/мин.

Погрешность измерений ambientной поглощенной дозы оценивается в $\pm 15\%$, ambientной эквивалентной дозы $\pm 30\%$.

ТАБЛИЦА

Точка	$D^*(10)$ мГр/ч	Q_R	$H^*(10)$ мЗв/ч	$H^*(10) / D_{Br}$ мкЗв/Гр	Положение точки	
					Расстояние от центра фантома, см	Угол от оси пучка, град.
A1	0,83	3,5	2,9	48	50	0
A2	0,36	3,5	1,26	21	100	0
A3	0,15	4,0	0,6	10	230	0
A4	0,97	2,9	2,8	47	100	90
A5	0,87	3,9	3,4	57	100	135

4. ВЫВОДЫ

Отношение ambientной эквивалентной дозы на расстоянии 1 м от фантома, облучаемого пучком протонов с энергией 200 МэВ, к максимальной поглощенной дозе в фантоме составляет (40 ± 20) мкЗв/Гр, причем сбоку от фантома ambientная доза выше, чем за фантомом по направлению первичного пучка (для протонов с пробегом, меньшим толщины фантома). Мощность ambientной дозы в кабине №1 изменяется приблизительно обратно пропорционально расстоянию от центра фантома.

Эффективный коэффициент качества вторичного излучения практически постоянен в пространстве вокруг фантома и составляет $3,6 \pm 1$. Величина коэффициента качества свидетельствует о преобладающем вкладе нейтронов в ambientную дозу.

Рядом с облучаемым фантомом (или пациентом) ambientная эквивалентная доза за сеанс облучения — порядка нескольких сотен мкЗв, что, согласно международным рекомендациям [6] и нормам, принятым в России [7], не превышает годового предела эффективной дозы для лиц населения и не превышает 5% дозового предела для профессионального облучения. Эти числа следует принимать во внимание при рассмотрении возможности допущения (в экстренных случаях) пребывания в кабине лиц, не являющихся пациентами. В таких случаях желательно провести добавочные, более тщательные исследования радиационной обстановки и её зависимости от параметров пучка.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] В.М.Абазов и др. Шестикабинный медицинский комплекс для лучевой терапии на пучках фазотрона ОИЯИ (Второе издание) Дубна, 1996.
- [2] M.Zielczynski, N.Golnik, Z.Rusinowski." A computer controlled ambient dose equivalent meter based on a recombination chamber." Nucl. Inst. and Methods, A 370 (1996) 563-567.
- [3] M.Zielczynski, N.Golnik, M.Makarewicz, A.H.Sullivan. Definition of Radiation Quality by Initial Recombination of Ions. In:7 Symp.on Microdosimetry, EUR 7147, Eds J.Booz, H.G.Ebert and H.D. Hartfiel (Luxembourg:CEC), 853-862 (1981).
- [4] M.Zielczynski, N.Golnik: "Recombination index of radiation quality measuring and applications". Radiat. Prot. Dosim. Vol. 52, 1-4, 35-38 (1994).
- [5] N.Golnik, M.Zielczynski: Determination of Quality Factor in Mixed Radiation Fields using Recombination Chamber. Radiat. Prot. Dosim., 44, 57-60 (1992)
- [6] N.Golnik, M.Zielczynski: "The concept of RIQ and its adaptation to recent recommendations of ICRP for external neutron fields "Nukleonika, vol. 41 2, 119-126, 1996.
- [7] International Commission on Radiological Protection: Data for protection against ionising radiation from external sources. ICRP Publication 21. Pergamon Press, Oxford, 1973.
- [8] ICRP International Commission on Radiological Protection: Recommendations of the ICRP. Publication 60, Annals of the ICRP. 21. № 1-3 (Pergamon Press, New York) (1991).
- [9] Нормы радиационной безопасности. НРБ 96

Зельчинский М. и др.

P16-98-346

Амбиентная эквивалентная доза в кабине для лучевой терапии протонами с энергией 200 МэВ

С целью оценки радиационной обстановки в кабине терапевтического облучения пациента протонами высокой энергии проведены измерения дозного поля вокруг облучаемого фантома. Отношение ambiентной эквивалентной дозы на расстоянии 1 м от фантома к максимально поглощенной дозе в фантоме составляло (40 ± 20) мкЗв/Гр и изменялось приблизительно обратно пропорционально расстоянию от центра фантома. Эффективный коэффициент качества вторичного излучения практически постоянен в пространстве вокруг фантома и составляет $3,6 \pm 1$. Такое значение коэффициента качества свидетельствует о преобладающей роли нейтронов.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1998

Zielczynski M. et al.

P16-98-346

Ambient Equivalent Dose at the Procedure Room with a 200 MeV Proton Beam

Dose measurements around an irradiated phantom have been performed in the cabine for radiation therapy using high energy protons. The ratio of the ambient dose equivalent at 1 m distance from the phantom to the maximum absorbed dose in the phantom is equal to (40 ± 20) μ Sv/Gy. It is approximately proportional to the reciprocal distance from the phantom. The effective quality factor of secondary radiation is almost a constant in a space around the phantom, its value is equal to 3.6 ± 1 . This value shows a predominating role of neutrons.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 1998