

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

1979/83

18-83-53

18/4-83

А.Я.Серов, Б.С.Сычев, Е.П.Череватенко,  
С.В.Чернов

ДВУМЕРНЫЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ  
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЗНЫХ ПОЛЕЙ  
В ВОДНОМ ПОГЛОТИТЕЛЕ,  
ОБЛУЧАЕМОМ НУКЛОНАМИ  
С ЭНЕРГИЕЙ ОТ 0,05 ДО 10 ГэВ

Направлено в журнал "Атомная энергия"

1983

Для решения ряда задач лучевой терапии, где используются узкие пучки нуклонов высокой энергии, необходима количественная информация о характеристиках дозного поля в поглотителе как в зоне пучка, так и за его пределами. Наличие этих данных в значительной степени способствует решению задач по определению оптимальных режимов облучения. В настоящей работе приведены некоторые результаты исследования закономерностей формирования пространственного распределения поглощенной и эквивалентной доз в водном поглотителе, облучаемом узкими пучками нейтронов и протонов. Результаты расчетов сравниваются с данными работ /1,2/, полученными для стандартной геометрии, а также с результатами измерений на нейтронном медицинском пучке Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ /3/.

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА

Рассматривается цилиндрический водный поглотитель толщиной 30 см и радиусом  $r_a$ . Пучок частиц ориентирован нормально к поверхности торца поглотителя. Поперечное сечение пучка - круг с радиусом  $r_0$ , а ось пучка совпадает с центральной осью цилиндра. Распределение частиц по площади сечения пучка равномерное. Результаты расчетов двумерных распределений нормированы на одну первичную частицу в площади сечения пучка. Расчеты пространственно-энергетического распределения вторичных адронов, которые образуются в результате развития межъядерного каскада в поглотителе, выполнены в рамках метода последовательных столкновений /4/. В цилиндрической геометрии поле излучений характеризуется функцией распределения частиц  $\Phi / r, z, \theta, \psi, E /$ , которая представляется в рассматриваемой задаче в виде ряда, где учитываются три первых члена разложения:

$$\Phi_i(r, z, \theta, \psi, E) = \sum_{n=1}^3 \Phi_i^{(n)}(r, z, \theta, \psi, E), \quad /1/$$

$\Phi_i^{(n)}(r, z, \psi, E)$  - функция распределения частиц типа  $i$ , вычисляемая из рекуррентного соотношения:

$$\begin{aligned} \Phi_i^{(n)}(r, z, \theta, \psi, E) = \\ = 2 \sum_j \int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} \operatorname{tg} \theta' d\theta' \int_0^{\psi_{\max}} d\psi' \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} dE' \int_{z_{\min}}^{z_{\max}} \Phi_j^{(n-1)}(r', z', \theta', \psi', E') \times \quad /2/ \end{aligned}$$

$$\times \left[ \sum_k \eta^{(k)} \sum_j^{(k)} (E') \frac{d^2 N_{ji}^{(k)}}{dE d\Omega} (E' \rightarrow E^*) \right] f_i(z, z', \theta, E, E^*) \frac{\beta_i(E^*)}{\beta_i(E)} dz',$$

$i = n, p, \pi^\pm, \pi^0 (e^\pm)$ ;  $j = n, p, \pi^\pm$ ;  $\eta^{(k)}$  - массовое содержание (k)-го элемента ( $\sum_k \eta^{(k)} = 1$ );  $\sum_j^{(k)} (E)$  - макроскопическое сечение

неупругого взаимодействия частиц типа j с ядрами (k)-го элемен-

та;  $\frac{d^2 N_{ji}^{(k)}}{dE d\Omega} (E' \rightarrow E^*)$  - дважды дифференциальное распределе-

ние частиц типа i с энергией  $E^*$ , образовавшихся при взаимодействии частиц типа j с энергией  $E'$  с ядром (k)-го элемента;  $\alpha$  - угол между направлениями движения первичной (j) и вторичной (i) частиц;  $f_i(z, z', \theta, E, E^*)$  - функция, описывающая перенос частиц от точки образования до точки наблюдения;  $\beta_i(E)$  - удельные ионизационные потери энергии частицей типа i: для нейтронов и  $\pi^0$ -мезонов  $E^* = E$ ; для заряженных частиц  $E^*$  определяется из соотношения:

$$R_j(E^*) = R_j(E) + \frac{z - z'}{\cos \theta},$$

где  $R_j(E)$  - средний ионизационный пробег частицы типа j с энергией E. Пределы интегрирования в соотношении /2/ определяются из геометрических соотношений. Интегрирование проводилось не по всему фазовому пространству, задаваемому пределами, а только по тем областям, вне которых вклад пренебрежимо мал.

Пространственно-энергетическое распределение флюенса частиц получается сверткой функции распределения по угловым переменным:

$$F_j(r, z, E) = 2 \int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} \sin \theta d\theta \int_0^{\psi_{\max}} \Phi_j(r, z, \theta, \psi, E) d\psi. \quad /3/$$

Переход от пространственно-энергетического распределения частиц /3/ к пространственному распределению дозы осуществляется следующим образом. Полная поглощенная доза в какой-либо точке поглотителя определяется суммой:

$$D_{\Sigma}(r, z) = D_{p1}(r, z) + D_{p2}(r, z) + D_{\pi^\pm}(r, z) + D_{\pi^0}(r, z) + D_{p^*}(r, z) + D_h(r, z) + D_\gamma(r, z), \quad /4/$$

где  $D_{p1}(r, z)$ ,  $D_{p2}(r, z)$ ,  $D_{\pi^\pm}(r, z)$  - доза, обусловленная ионизационным торможением первичных протонов, /1/, высокоэнергетических вторичных протонов /2/ и заряженных пи-мезонов.

$$D_i(r, z) = \int_{E_1}^{E_{\max}} F_i(r, z, E) \beta_i(E) dE \quad i = p_1, p_2, \pi^\pm, \quad /5/$$

где  $E_1$  - минимальная энергия в спектрах вторичных частиц / $E_1 = 4$  МэВ/.  $D_{\pi^0}(r, z)$  - доза, обусловленная электронами и позитронами, которые образуются в результате развития электрон-фотонного ливня, инициируемого  $\gamma$ -квантами от распада  $\pi^0$ -мезонов. Предполагалось, что распад  $\pi^0$ -мезонов происходит в точке их образования, и в результате испускаются два  $\gamma$ -кванта в направлении движения  $\pi^0$ -мезона. Вычисление  $D_{\pi^0}(r, z)$  проводилось с использованием аналитических выражений для каскадных кривых пробегов электронов в одномерной геометрии.

Последние три слагаемых в выражении /4/  $D_{p^*}(r, z)$ ,  $D_h(r, z)$  и  $D_\gamma(r, z)$  обозначают вклад в дозу низкоэнергетических вторичных нуклонов (n, p) тяжелых заряженных частиц /d, t,  $^3\text{He}$ ,  $\alpha$  /, а также упруго рассеянных ядер отдачи кислорода воды, и  $\gamma$ -квантов, образующихся на "испарительной" стадии взаимодействия адронов с ядрами кислорода:

$$D_i(r, z) = \sum_{\ell} \int_{0,1 \text{ МэВ}}^{15 \text{ МэВ}} E dE \int_{E_1}^{E_{\max}} \sum_{j=n,p,\pi^\pm} F_j(r, z, E') \eta^{(k)} \sum_j^{(k)} (E') \frac{dN_{\ell}^{(k)}}{dE} (E, E') dE', \quad /6/$$

где  $dN_{\ell}^{(k)}/dE (E, E')$  - энергетический спектр испарительных частиц типа  $\ell$ : при  $i = p^*$   $\ell = n, p$ ; при  $i = h^*$   $\ell = d, t, ^3\text{He}, \alpha$ ; (k) относится к кислороду воды;

$$D_h(r, z) = D_{h^*}(r, z) + D_o(r, z);$$

$$D_o(r, z) = \sum_{j=n,p,\pi^\pm} \int_{E_1}^{E_{\max}} F_j(r, z, E) \sum_j^{e\ell} (E) \bar{E}_o(E) dE, \quad /7/$$

где  $\sum_j^{e\ell} (E)$  - макроскопическое сечение упругого взаимодействия адронов с ядром кислорода;  $\bar{E}_o(E)$  - средняя энергия ядра отдачи кислорода;

$$D_\gamma(r, z) = \sum_{j=n,p,\pi^\pm} \int_{E_1}^{E_{\max}} F_j(r, z, E') \eta^{(k)} \sum_j^{(k)} (E') E_\gamma dE',$$

где  $E_\gamma$  - энергия, уносимая из ядра  $\gamma$ -квантами.

Расчет эквивалентной дозы  $D_{\text{ЭКВ}}(r, z)$  проводился с использованием коэффициентов качества излучения, определенных согласно рекомендациям работы /5/. Для заряженных частиц с линейной передачей энергии /ЛПЭ/, больше 3,5 кэВ/мкм, использовалась зависимость коэффициента качества от ЛПЭ /или энергии/ частиц в воде /6/. Коэффициент качества для ядра отдачи кислорода принимался равным 20. Считалось, что энергия всех испарительных частиц и ядер отдачи кислорода поглощается локально, в точке их образования.

На основе изложенного формализма создана вычислительная программа "MEDICA", с помощью которой рассчитывались характеристики дозного поля в водном поглотителе.

### РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ В ОДНОМЕРНОЙ ГЕОМЕТРИИ

На рис. 1 и 2 приведены глубинные распределения поглощенной дозы в поглотителе, облучаемом моноэнергетическими нейтронами с энергией от 60 до 3000 МэВ, и протонами с энергией от 400 до 3000 МэВ. Результаты наших расчетов сравниваются с данными работ /1,2/, полученными для стандартной геометрии /широкий пучок мононаправленного излучения определенной энергии нормально падает на фантом в виде полубесконечного слоя толщиной 30 см/. Наш расчет проводился для радиусов поглотителя  $r_a$  вплоть до 40 см. Как показал расчет, дальнейшее увеличение радиуса поглотителя не приводит к каким-либо существенным изменениям глубинных распределений. Это иллюстрируется данными, представленными на рис. 3, из которых следует, что вклад в глубинное распределение из периферийной области с радиусом  $r_a$  от 30 до 40 см составляет около 3%.

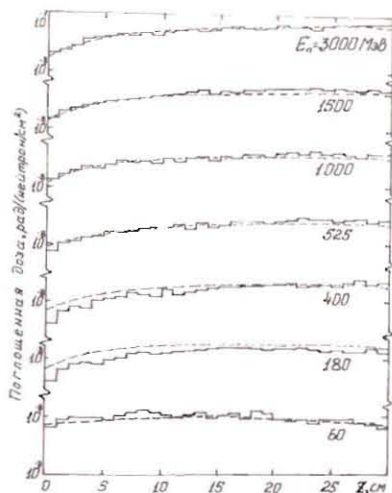


Рис.1. Глубинные распределения поглощенной дозы для стандартной геометрии /моноэнергетические нейтроны  $E_n = /60 \div 3000/$  МэВ/. Гистограмма - расчетные данные /1/, пунктир - наш расчет.

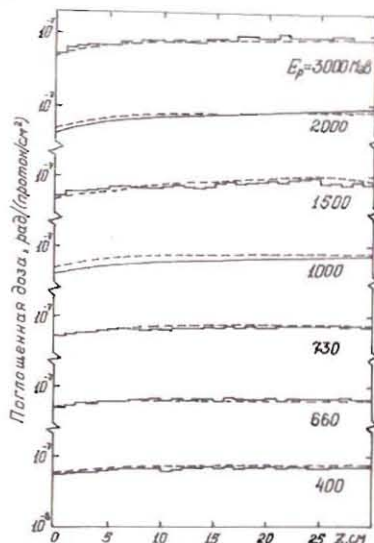


Рис.2. Глубинные распределения поглощенной дозы для стандартной геометрии /моноэнергетические протоны  $E_p = /400 \div 3000/$  МэВ/. Гистограмма - расчетные данные /1/, сплошная линия - расчетные данные /2/, пунктир - наш расчет.

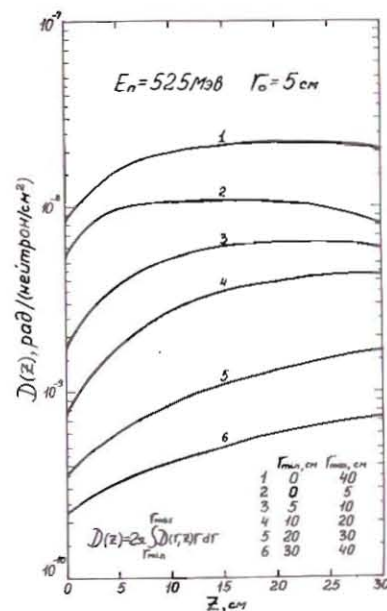


Рис. 3. Одномерные распределения поглощенной дозы  $D(z)$ , полученные из двумерных распределений  $D(r, z)$  моноэнергетических нейтронов.

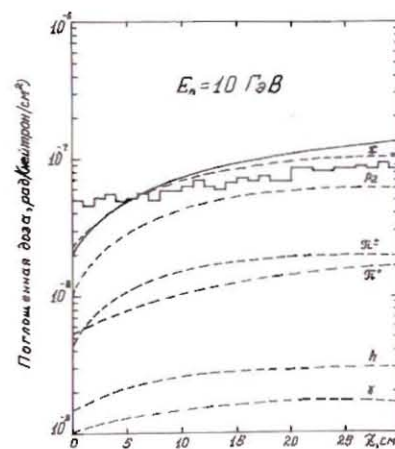


Рис. 4. Глубинное распределение поглощенной дозы и ее компонентов для нейтронов с энергией 10 ГэВ /стандартная геометрия/. Гистограмма - расчетные данные /7/, сплошная кривая - расчетные данные /8/, пунктир - наш расчет.

Сравнение данных по глубинным распределениям поглощенной дозы показывает удовлетворительное согласие. Величины эквивалентных доз, рассчитанные по изложенной методике, на  $15 \pm 30\%$  /в зависимости от глубины поглотителя/ меньше, чем результаты расчета этих доз в работе /1/. Это различие, по-видимому, обусловлено тем, что в работе /1/ коэффициент качества принят равным 20 для всех тяжелых испарительных частиц независимо от их энергии.

Глубинные распределения поглощенной дозы в воде для нейтронов с энергией 10 ГэВ приведены на рис. 4. Данные получены в работах /7,8/ и в настоящей работе для стандартной геометрии. Кроме распределения полной поглощенной дозы, на этом рисунке представлены распределения составляющих ее компонентов. Причины расхождения между результатами работ /7/ и /8/ обсуждены в работе /8/. Следует отметить, что глубинное распределение, полученное в настоящей работе, существенно ближе к результатам расчета /8/.

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ДЛЯ ДВУМЕРНОЙ ГЕОМЕТРИИ

На рис. 5 и в таблице представлены данные, характеризующие пространственное распределение поглощенной дозы и коэффициента качества для нейтронов с энергией 525 МэВ /радиус пучка  $r_0=1$  см/. Как видно из рисунка, форма глубинных распределений сильно меняется в зависимости от радиуса. Так, распределение в зоне пучка характеризуется максимумом на глубине ~ 6 см, а на радиусе  $r = 10$  см максимум дозы достигается на глубине 30 см. Величина коэффициента качества, как следует из таблицы, меняется по объему поглотителя в диапазоне от 6,21 до 1,69, что является следствием неоднородности пространственного распределения компонентов поглощенной и эквивалентной доз. На рис. 6 и 7 приведены глубинные распределения полной поглощенной дозы и ее компонентов как в зоне пучка / $r_0 = 0,564$  см,  $r = 0,1$  см/, так и вне ее / $r = 10$  см/. Данные относятся к первичным протонам с энергией 1000 МэВ. Для этого случая получены результаты, приведенные на рис. 8, характеризующие радиальное распределение поглощенной и эквивалентной доз от первичного и вторичного излучения на глубине  $z = 12$  см водного поглотителя. В зоне пучка доза, обусловленная вторичным излучением, составляет ~16% от полной поглощенной дозы и ~ 45% - от полной эквивалентной дозы.

Таблица  
Пространственное распределение коэффициента качества в поглотителе при его облучении пучком моноэнергетических нейтронов

$$E_n = 525 \text{ МэВ} \quad r_0 = 1 \text{ см}$$

$$K(r, z) = D_x^{мф}(r, z) / D_x(r, z) \quad K(z) = D_x^{мф}(z) / D_x(z)$$

$r, \text{ см}$	$z, \text{ см}$					
	0	6	12	18	24	30
0.1	6.06	4.42	4.39	4.29	4.26	4.46
0.5	6.09	4.52	4.42	4.38	4.34	4.55
0.9	6.21	4.86	4.72	4.66	4.62	4.82
1.5	2.30	1.84	1.80	1.79	1.78	1.69
3.0	2.42	1.93	1.84	1.81	1.78	1.70
10.	2.50	2.17	1.99	1.89	1.82	1.75
30.	2.56	2.35	2.18	2.05	1.95	1.88
40.	2.74	2.62	2.50	2.39	2.28	2.20
$K(z)$	4.62	3.00	2.72	2.59	2.50	2.44

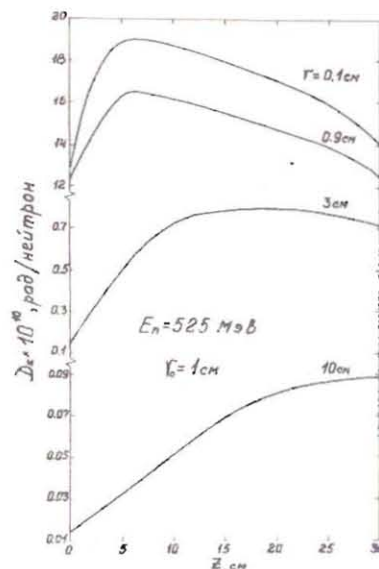


Рис. 5. Пространственное распределение поглощенной дозы в воде для моноэнергетических 525-МэВ нейтронов.

Рис. 6. Глубинное распределение поглощенной дозы и ее компонентов в зоне протонного пучка.

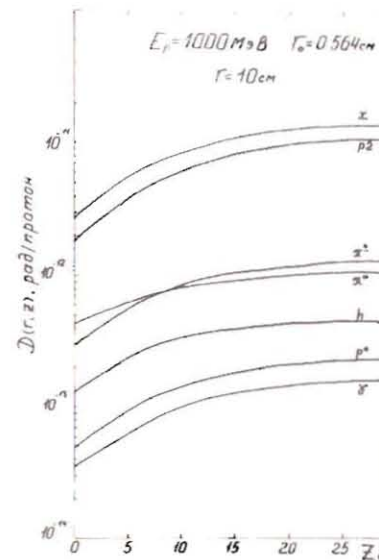
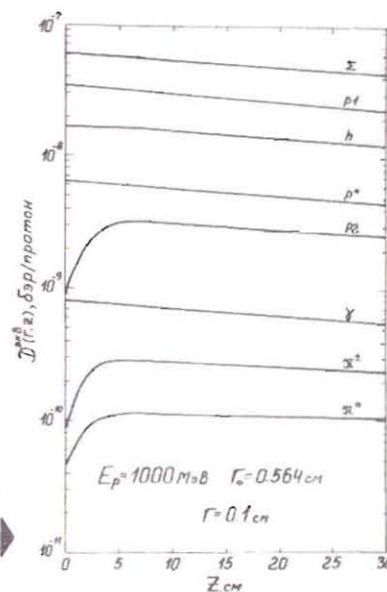
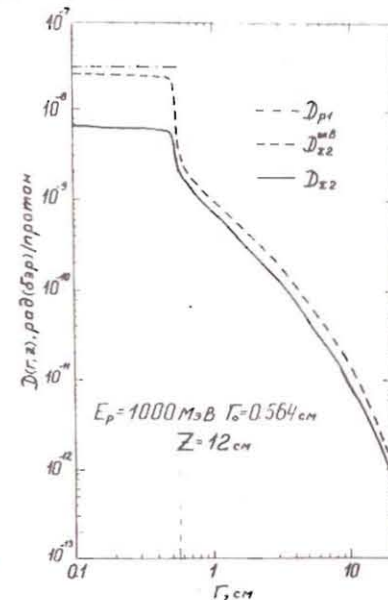


Рис. 7. Глубинное распределение поглощенной дозы и ее компонентов вне зоны протонного пучка.

Рис. 8. Радиальные распределения поглощенной и эквивалентной доз от первичного ( $D_{p1}$ ) и вторичного излучения / $D_{\Sigma 2}$  и  $D_{\Sigma 2}^{ЭКВ}$  /.



## СРАВНЕНИЕ С РЕЗУЛЬТАТАМИ ЭКСПЕРИМЕНТА

Расчетные данные, приведенные на рис. 9 - 11, получены для конкретной геометрии эксперимента <sup>13/</sup>. В этом эксперименте водный фантом облучался пучком нейтронов, генерируемых в бериллиевой мишени толщиной 36 см под действием протонов с энергией 645 МэВ. Радиус пучка нейтронов  $r_0 = 5$  см. При расчете использовались данные об энергетическом спектре образующихся нейтронов <sup>13/</sup> и измеренной плотности потока нейтронов у переднего торца поглотителя. Данные нормировались на единичный флюенс нейтронов в предположении равномерности распределения частиц источника по площади пучка.

На рис. 9 представлены результаты расчетов по глубинному распределению поглощенной дозы и ее компонентов в зоне пучка, на рис. 10 - вне зоны пучка. Как видно из рисунков, основной вклад в дозу дают каскадные протоны и тяжелые испарительные частицы. Сравнение расчетных и экспериментальных данных по радиальным распределениям поглощенной дозы на шести глубинах /рис. 11/ показывает удовлетворительное согласие как по форме, так и по абсолютным величинам.

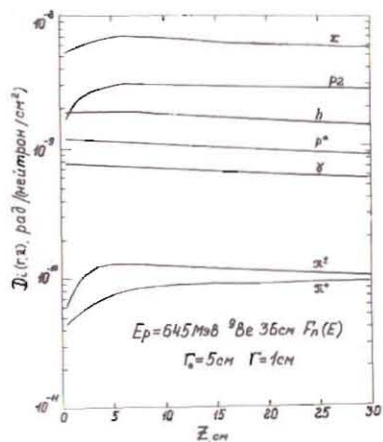


Рис. 10. Глубинные распределения поглощенной дозы и ее компонентов вне зоны пучка нейтронов, генерируемых из бериллиевой мишени 645-МэВ протонами.

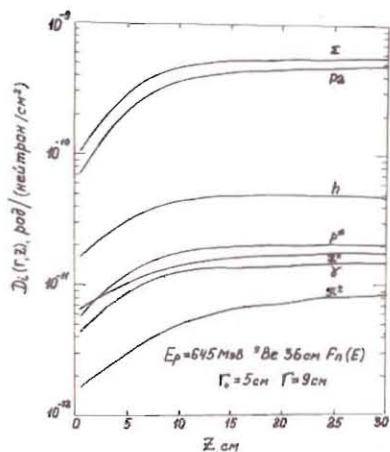


Рис. 9. Глубинные распределения поглощенной дозы и ее компонентов в зоне пучка нейтронов, генерируемых из бериллиевой мишени 645-МэВ протонами.

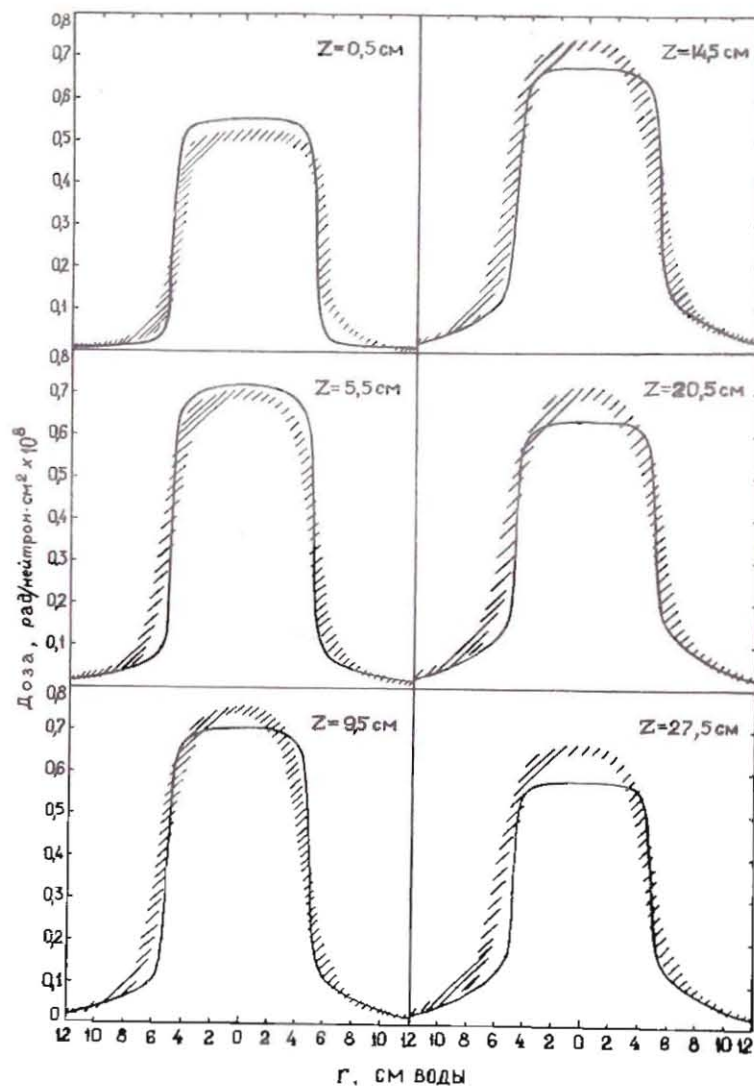


Рис. 11. Радиальные распределения поглощенной дозы на различных глубинах фантома. Штрихованная полоса - эксперимент, сплошная линия - наш расчет.

## ВЫВОДЫ

Рассмотренный в настоящей работе способ расчета, базирующийся на методе последовательных столкновений, позволяет определять пространственное распределение как полной поглощенной и эквивалентной доз, так и распределение составляющих ее компонентов в поглотителе. Результаты вычислений, выполненных по этой методике, хорошо совпадают с результатами других вычислений<sup>1,2/</sup> для условий стандартной геометрии облучения фантома нуклонами с энергией в диапазоне 50 МэВ ± 10 ГэВ /рис. 1, 2 и 4/, что дает основание применить ее для исследования закономерностей формирования дозных полей в фантоме, облучаемом узкими пучками нуклонов высоких энергий с произвольным энергетическим спектром.

Как отмечалось выше, для данного радиуса пучка  $r_0$  глубинное распределение поглощенной дозы ( $D_{\Sigma}(r, z)$ ) вдоль центральной оси пучка имеет наиболее отчетливо выраженный максимум, который по мере удаления рассматриваемой оси от центра становится более пологим и перемещается к задней стенке фантома /рис. 5/. Это обстоятельство важно учитывать при измерениях глубинных распределений дозы в фантоме, при которых размеры детектора должны быть существенно меньше поперечных размеров пучка, а перемещение детектора по глубине должно производиться строго параллельно центральной оси пучка, что дает возможность свести к минимуму интегрирование различных глубинных распределений, происходящее в пределах площади поперечного сечения чувствительного объема детектора.

Характер глубинных распределений полной поглощенной дозы в фантоме определяется распределением составляющих ее компонентов. Если для протонов высоких энергий основной вклад в дозу в зоне пучка дают первичные и вторичные высокоэнергетические протоны, то для нейтронов высоких энергий наряду со вторичными высокоэнергетическими протонами большое значение приобретают тяжелые заряженные частицы и ядра отдачи, образующиеся при взаимодействии адронов с ядрами вещества поглотителя. Так, для протонов с энергией 1000 МэВ на глубине  $z = 12$  водного фантома ~84% от полной поглощенной дозы в зоне пучка /рис. 6/ составляет вклад от первичных протонов ( $D_{p1}$ ), ~8% - от вторичных протонов ( $D_{p2}$ ) и ~8% - от всех остальных видов излучений ( $D_h + D_{p*} + D_{\gamma} + D_{\pi^{\pm}} + D_{\pi^0}$ ). Вне зоны пучка, где отсутствуют первичные протоны, ~74% полной поглощенной дозы обусловлено вторичными высокоэнергетическими протонами ( $D_{p2}$ ); ~10% -  $\pi^{\pm}$ -мезонами ( $D_{\pi^{\pm}}$ ); ~9% - излучением, инициируемым  $\pi^0$ -мезонами ( $D_{\pi^0}$ ), и ~7% - остальными видами излучений ( $D_h + D_{p*} + D_{\gamma}$ ). Для нейтронного пучка, генерируемого из бериллиевой мишени протонами с энергией 645 МэВ, на глубине  $z = 9,5$  см в зоне пучка /рис. 9/ ~44% от полной дозы обусловлено вторичными высокоэнергетическими протонами ( $D_{p2}$ ); ~27% - тяжелыми заряженными частицами и ядрами отдачи ( $D_h$ ); ~16% - низкоэнергетическими вторичными нук-

лонами ( $D_{p*}$ ); ~10% - гамма-квантами ( $D_{\gamma}$ ) и ~3% - пи-мезонами ( $D_{\pi^{\pm}} + D_{\pi^0}$ ). Вне зоны пучка /рис. 10/ основную роль в формировании дозного поля играют высокоэнергетические вторичные протоны. Их вклад в полную поглощенную дозу составляет ~80% ( $D_{p2}$ ); доза, обусловленная тяжелыми заряженными частицами и ядрами отдачи ( $D_h$ ), составляет ~10% и ~10% приходится на вклад от остальных видов излучения ( $D_{p*} + D_{\pi^0} + D_{\gamma} + D_{\pi^{\pm}}$ ).

Радиальные распределения полной дозы нуклонов высоких энергий характеризуются довольно крутым спадом в области границы пучка /рис. 8 и 11/, причем для нейтронного пучка измеренные радиальные распределения на разных глубинах водного фантома /рис. 11/ дают менее резкий спад дозы по краям пучка / $r_0 = 5$  см/, что приводит к заметному несоответствию расчетных и измеренных изодозных картин в области границ пучка. По-видимому, это обусловлено тем, что в расчетах рассматривался мононаправленный нейтронный пучок, падающий на фантом, в то время как реальный пучок имел некоторую угловую расходимость, которая экспериментально определена не была. Кроме того, в зоне пучка, начиная примерно с глубины 9 см, соответствующей максимуму глубинного распределения, измеренная поглощенная доза систематически выше /примерно на 10%/ расчетной, что может быть обусловлено тем, что в расчетах рассматривался фантом толщиной 30 см, в то время как в эксперименте использовался фантом толщиной 70 см по ходу пучка. Более тщательная постановка экспериментов на реконструированном синхроциклотроне ЛЯП ОИЯИ и учет конкретных параметров пучка и поглотителя в расчетах, несомненно, будут способствовать более точному описанию реальных изодозных распределений, что необходимо для моделирования условий и интерпретации результатов радиобиологических и других экспериментов на пучках нуклонов высоких энергий. Получаемые результаты вычислений могут быть использованы также в качестве исходной информации для расчетов микрометрических распределений энерговыделений в фантоме для конкретных условий радиобиологических экспериментов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Alsmiller R.G., Jr., Armstrong T.W., Coleman T.W. Nucl.Sci. Engng., 1970, v. 42, p. 376.
2. Wright H.A. et al. Health Phys., 1969, v. 16, p. 13.
3. Серов А.Я., Сычев Б.С., Череватенко Е.П. ОИЯИ, 18-80-540, Дубна, 1980.
4. Гельфанд Е.К., Серов А.Я., Сычев Б.С. В кн.: Ускорители заряженных частиц. Труды РТИ АН СССР, 1974, №20, с. 136.
5. Recommendations ICRP. Publication 21. Oxford, Pergamon Press, 1971.
6. Вихров А.И. и др. В кн.: Атлас дозовых характеристик внешнего ионизирующего излучения /под ред. Е.Е.Ковалева/, М., Атомиздат, 1978, с. 6-10.

7. Armstrong T.W., Chandler K.C. DRNL-3758, Oak Ridge, 1972.  
8. Головачик В.Т., Потемкин Е.Л., Лебедев В.Н., Фролов В.В.  
Препринт ИФВЭ ОРЗ 74-58, Серпухов, 1974.

Серов А.Я. и др.

18-83-53

Двумерные пространственные распределения дозных полей в водном поглотителе, облучаемом нуклонами с энергией от 0,05 до 10 ГэВ

С целью получения количественной информации о характеристиках дозного поля, создаваемого в фантоме терапевтическим пучком нейтронов высоких энергий Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ, проведено исследование закономерностей формирования в поглотителе пространственного распределения полной поглощенной и эквивалентной доз, а также распределения составляющих ее компонентов. Расчеты выполнены с помощью программы "MEDICA", реализующей метод последовательных столкновений применительно к узким пучкам нуклонов, падающих на поглотитель, с произвольным энергетическим спектром. Результаты вычислений дают удовлетворительное согласие с результатами измерений и могут быть использованы в качестве исходной информации для расчетов микродозиметрических распределений энерговыделений в фантоме для конкретных условий радиобиологических экспериментов на подобных пучках.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Serov A.Ya. et al.

18-83-53

Two-Dimension Space Distributions of the Dose Fields in Water Absorber Irradiated by Nucleons in the 0.05 up to 10 GeV Energy Range

The investigation of space distribution formation laws of complete absorbed and equivalent dose, as well as of its components in an absorber is made in order to derive quantitative information about characteristics of dose field, produced in phantom by the therapeutic neutron high energy beam of JINR Nuclear Problems Laboratory. The calculations have been carried out using the "MEDICA" computer program, realizing the successive collision method applicably to narrow nucleon beams, falling on absorber and having arbitrary energy spectrum. The calculated results agree satisfactorily with the measurement results and could be used as initial information for calculating microdosimetric distributions of energy deposits in phantom for real conditions of radiobiological experiments on similar beams.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Рукопись поступила в издательский отдел  
1 февраля 1983 года.

Перевод О.С.Виноградовой.