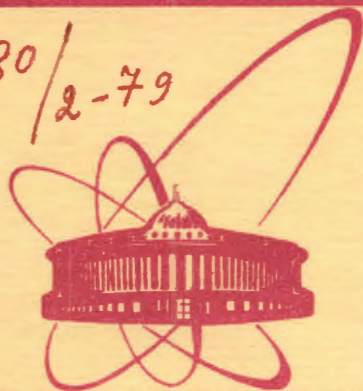


4480/2-79



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

C345e

3-177

5/11-79

16 - 12266

Л.Н.Зайцев, В.П.Зорин, С.А.Новиков, Ю.В.Семенов,
В.П.Сидорин, В.В.Фролов, В.Б.Хвостов

ИССЛЕДОВАНИЕ
ПРОСТРАНСТВЕННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ
В ЭЛЕМЕНТАХ СТРУКТУРЫ
ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСКОРИТЕЛЕЙ
(МАКЕТНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ)

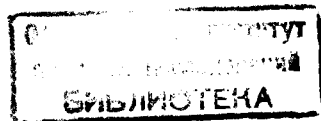
Часть IV. Измерение дозовых распределений
с использованием ионизационных камер
и термолюминесцентных дозиметров

1979

Л.Н.Зайцев,* В.П.Зорин, С.А.Новиков, Ю.В.Семенов,*
В.П.Сидорин,* В.В.Фролов,* В.Б.Хвостов *

ИССЛЕДОВАНИЕ
ПРОСТРАНСТВЕННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ
В ЭЛЕМЕНТАХ СТРУКТУРЫ
ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСКОРИТЕЛЕЙ
(МАКЕТНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ)

Часть IV. Измерение дозовых распределений
с использованием ионизационных камер
и термолюминесцентных дозиметров



* Московский инженерно-физический институт.

Зайцев Л.Н. и др.

16 - 12266

Исследование пространственно-энергетического распределения излучения в элементах структуры высокоэнергетических ускорителей /макетный эксперимент/. Часть IV. Измерение дозовых распределений с использованием ионизационных камер и термолюминесцентных дозиметров

Получена экспериментальная информация о характеристиках поля излучения, возникающего при потерях на ионопроводе протонного пучка с энергией 7,5 ГэВ. Используется экспериментальная установка, имитирующая дипольный магнит ускорителя.

Призодится методика измерения поглощенной дозы ионизационными камерами и термолюминесцентными дозиметрами. Описан способ градуировки детекторов.

Измерены распределения поглощенной дозы в экспериментальной установке при различных потерях пучка на ионопроводе. Получено, что дозовые нагрузки на магниты существенно зависят от распределения потерь по апертурному углу и углов высадки пучка на ионопровод. При этом максимальные нагрузки определяются в основном заряженными высокоэнергетическими частицами.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований, Дубна 1979

Zaitsev L.N. et al.

16 - 12266

Investigation of Space-Energy Distribution of Radiation in Structure Elements of High-Energy Accelerators. Part 4. Measurement of Dose Distributions by means of Ionization Chambers and Thermoluminescent Dosimeters

Experimental information on radiation field characteristics appearing at losses on 7.5 GeV proton beam ionconductor has been obtained. Experimental setup imitating an accelerator dipole magnet is used. Methods of measurements of absorbed dose by ionization chambers and thermoluminescent dosimeters is described. Distributions of absorbed dose in experimental setup were measured at various beam losses on the ionconductor. It is shown that the dose magnet load significantly depends on loss distributions over aperture angle and beam settling on the ionconductor. Maximum loading is determined chiefly by charged high energy particles.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

Измерение энерговыделения от излучения высокоэнергетических ускорителей связано со значительными трудностями. Калориметрия в полях рассеянного излучения очень сложна и требует разработки специальных методик и уникального оборудования^{1/}.

Как правило, измерение радиационных нагрузок осуществляется с помощью ионизационных, люминесцентных или химических методов дозиметрии, а также путем восстановления спектральных характеристик поля излучения активационным методом с последующей оценкой дозы по переходным коэффициентам. При этом "отклик" детектора, измеренный тем или иным способом, может существенно отличаться от реальной характеристики дозового поля в интересующем нас веществе. Сравнение различных дозиметров, применяемых в практике измерений полей излучения, создаваемых высокоэнергетическими ускорителями, обнаружило значительное расхождение их показаний между собой^{2/}. Это приводит к необходимости тщательной калибровки детекторов в полях излучения, близких к рассматриваемым в эксперименте.

В данной работе для измерения характеристик дозового поля в установке "Модель"^{3/} применялись наперстковые ионизационные камеры и термолюминесцентные дозиметры на основе LiF.

ИЗМЕРЕНИЕ ИОНИЗАЦИОННЫМИ КАМЕРАМИ

Ионизационные камеры из латуни с размерами вакуумной полости ~ 1 см и рабочим объемом ~ 0,4 см³ находились в непосредственном контакте с материалом экспериментальной установки /рис. 1/.

Сигнал с камеры подавался на предусилитель прибора У1-7 /рис. 1/, формировался прибором и затем регистрировался с помощью шлейфового осциллографа. Величина регистрирующего сигнала регулировалась с помощью входного сопротивления прибора У1-7, а также магазина шунтов и сопротивлений в электрической цепи шлейфового осциллографа. Величина рабочего значения U_B , приложенного к высоковольтному электроду ионизационной камеры, выбрана на плато вольт-амперной характеристики камеры и составляет ~ 300 В.

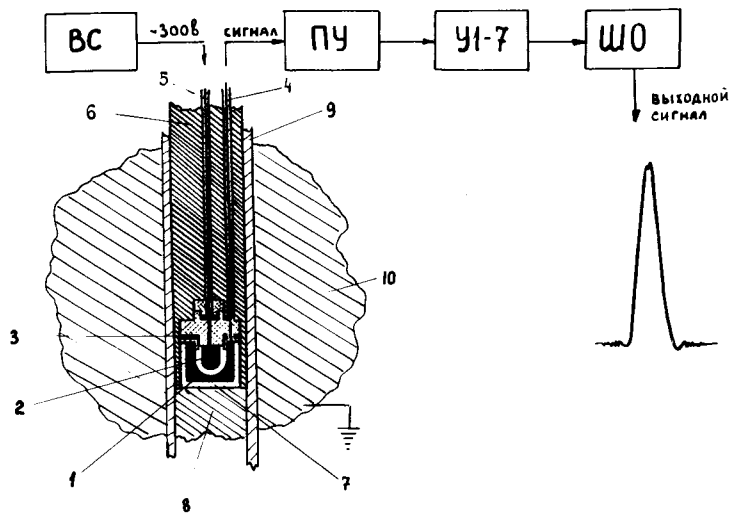


Рис. 1. Блок-схема измерений ионизационными камерами: 1 - высоковольтный электрод, 2 - сигнальный электрод, 3 - охранный электрод, 4 - высоковольтный кабель, 5 - сигнальный кабель, 6 - стальные заглушки, 7 - изолятор, 8 - заглушка, 9 - материал установки "Модель".

Поглощенная доза вблизи вакуумной полости пропорциональна площади под кривой, описывающей токовый сигнал ионизационной камеры:

$$D = \kappa \cdot \epsilon, \quad /1/$$

где $\epsilon = s \cdot k(R_C, R_{III}) / R_{BX}$; κ - коэффициент абсолютной градуировки ионизационной камеры; s - площадь под кривой, описывающей токовый сигнал; $k(R_C, R_{III})$ - коэффициент усиления сигнала шлейфовым осциллографом; R_C, R_{III} - величина переменных сопротивлений в магазине шунтов и сопротивлений шлейфового осциллографа; R_{BX} - входное сопротивление прибора У1-7.

Коэффициент усиления $k(R_C, R_{III})$ может меняться приблизительно в 10^3 раз в зависимости от величины R_C и R_{III} и определяется с погрешностью не хуже 1%. Относительная градуировка ионизационных камер, используемых в эксперименте, показала их идентичность в пределах погрешности 5%. Сум-

марная погрешность измерения величины ϵ , определяемой выражением /1/, не превышает 10%.

Абсолютная градуировка ионизационных камер была выполнена в эксперименте по гашению пучка. Пучок протонов гасился в стальном массиве установки "Модель", как показано на рис. 2. Ось пучка лежала в плоскости YZ при $Y=19$ см, а центр чувствительного объема ионизационной камеры - при $Y=18$ см. Сравнение результатов эксперимента и расчета /рис. 2/ позволило выбрать коэффициент абсолютной градуировки κ , который и использовался в дальнейших измерениях.

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫМИ ДОЗИМЕТРАМИ

Термолюминесцентные дозиметры /ТЛД/ широко применяются в практике регистрации поглощенной энергии на высокоэнергетических ускорителях. "Отклик" дозиметра существенно зависит от типа ТЛД и характеристик поля излучения. Основными преимуществами применения ТЛД является малый размер, отсутствие соединительных проводов и простое обслуживание.

В данной работе использовались и дозиметры VA-S-200 на основе LiF, и установка для термолюминесцентной дозиметрии VA-M-30 /Дрезден, ГДР/. Количество фтористого лития на один дозиметр составляло 50 мг, размер полиэтиленовых капсул - $\phi 8,5$ мм x 3,5 мм. Установка VA-M-30 имеет линейные характеристики по дозе в диапазоне 1-1000 рад.

Калибровка дозиметра по эталонному прибору /воздухоэквивалентная ионизационная камера VA-J-18 / в различных полях излучений показала, что градуировочный коэффициент $K = \frac{D_{\text{эталон}}}{D_{\text{ТЛД}}}$ является постоянной величиной в пределах погрешности ~ 10%*. Градуировочный коэффициент K введен в качестве постоянного множителя в показания пересчетного прибора VA-M-30, и, таким образом, в полях заряженных частиц и гамма-квантов измерение ТЛД эквивалентно измерению воздухоэквивалентной ионизационной камерой.

Облучение ТЛД в смешанном поле излучения реактора ИРТ-2000^{4/} МИФИ показало, что они занимают дозу от нейт-

* Калибровка ТЛД проводилась сотрудниками Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ на пучках протонов с энергией 100, 200, 400 и 600 МэВ, в измерениях кривой Брэгга для протонов и π -мезонов, а также на рентгеновской установке и изотопном источнике ^{137}Cs .

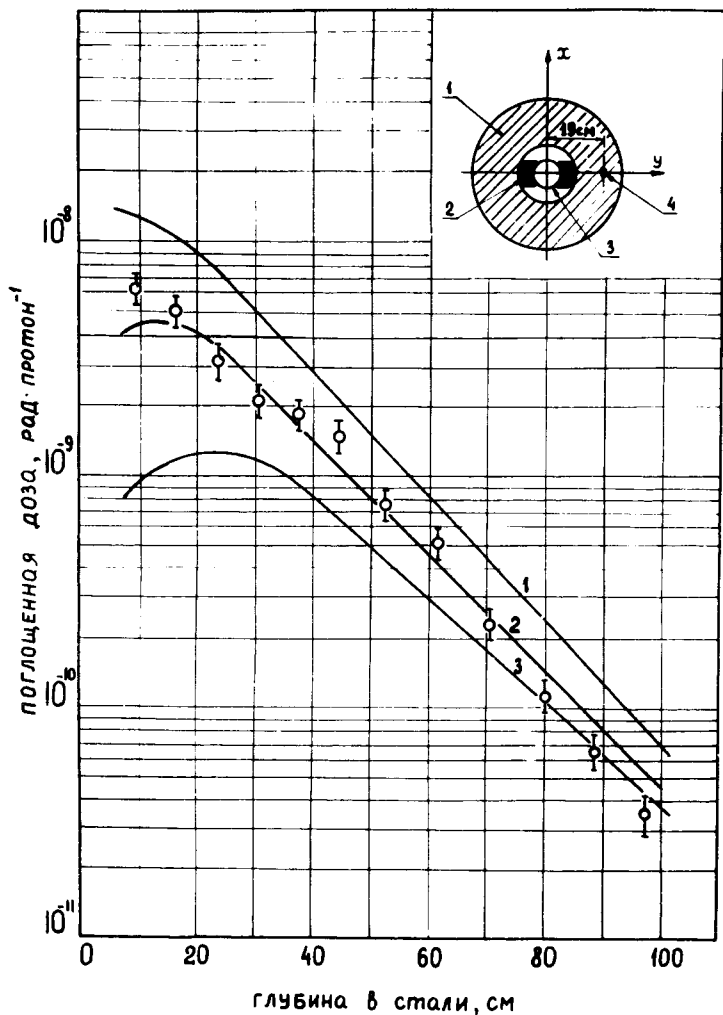


Рис. 2. Глубинные распределения поглощенной дозы в стальном массиве в плоскости (YZ) при $Y = 19$ см /кривая 1/, $Y = 18$ см /кривая 2/ и $Y = 17$ см /кривая 3/. о - результаты измерений ионизационными камерами, нормированные на расчетную кривую 2, 1 - ярмо магнита, 2 - обмотки, 3 - стенка ионопровода, 4 - центр гашения пучка.

ронов по сравнению с тканевой дозой и $D_n^{ТЛД}/D_n^{CH_2} \approx 0,3$, что согласуется с данными работы /5/.

Спектр нейтронов в месте измерений для энергий нейтронов $E < 0,1$ МэВ близок к $\sim 1/E$, а при более высоких энергиях практически совпадает со спектром деления.

Результаты измерений представлены в таблице.

Таблица

Результаты калибровки ТЛД на реакторе ИРТ-2000 /4/

Φ_n / $E > 0,1$ МэВ/ н·см ⁻²	Φ_n / $E > 2,65$ МэВ/ н·см ⁻²	D_n , рад в CH_2	D_y , рад в CH_2	$D_{ТЛД}$, рад
$7,5 \pm 0,5 \cdot 10^{10}$	$2,1 \pm 0,1 \cdot 10^{10}$	340 ± 20	460 ± 30	550 ± 20

Результаты измерений пороговыми детекторами на основе ^{32}S и ^{12}C /5/ позволяют проверить также применимость для оценок дозы эмпирического соотношения, рекомендованного в работе /6/:

$$D = 3 \cdot 10^{-8} \Phi_C + 6 \cdot 10^{-8} \Phi_S, \quad /2/$$

где D - поглощенная доза в радианах; Φ_C и Φ_S - потоки излучения, измеренные углеродным и серным детекторами соответственно.

Результаты измерений показывают, что показания ТЛД существенно завышают величину поглощенной дозы в железе, определенную с помощью керма-факторов /5,7/. Однако они вполне применимы в полях излучения с большим содержанием заряженных частиц. По-видимому, в рассматриваемых нами условиях измерений суммарный эффект от нейтральных и заряженных частиц, измеренный ТЛД, будет близок к величине дозы, поглощенной в материале типа железа /6/.

На рис. 3-6 приведено сравнение данных расчета и измерений ионизационными камерами и ТЛД в геометриях А и Б при высадке протонного пучка под углами $\alpha = 100$ и 35 мрад. Использование соотношения /1/ показывает, что полученная величина существенно превышает измерение значения дозы там, где соотношение $\Phi_C/\Phi_S \approx 1$. Это говорит о переоценке вклада в дозу низкоэнергетических нейтронов. По-видимому, соотношение /1/ применимо лишь для оценки тканевой дозы за защитой высокоэнергетических ускорителей.

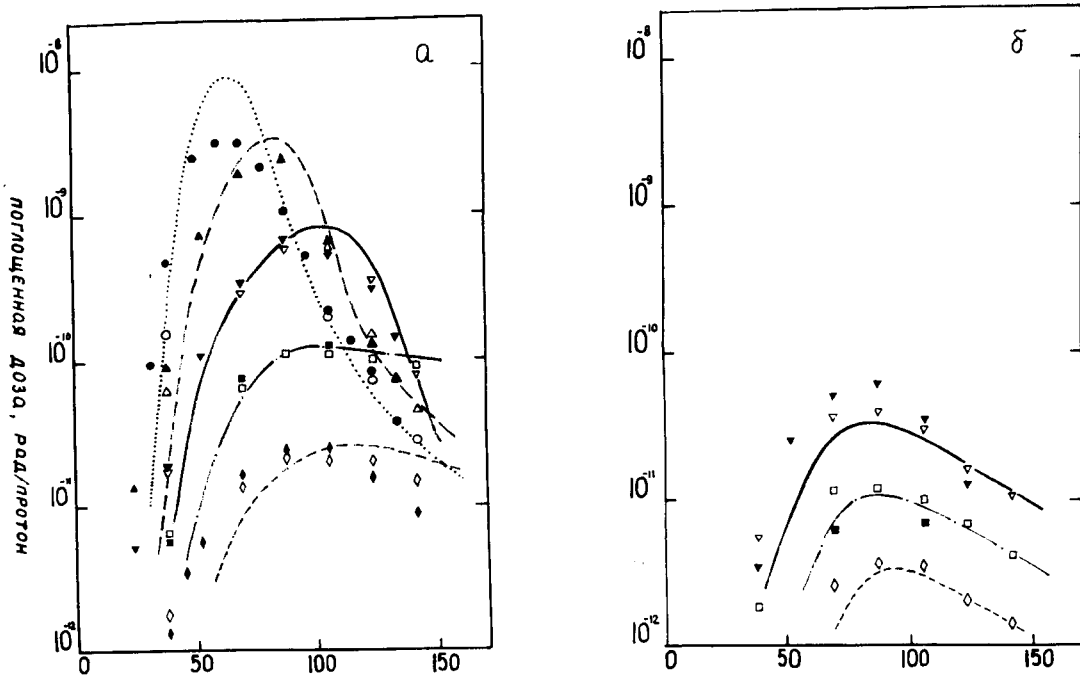


Рис. 3. Распределение поглощенной дозы на различных расстояниях от оси установки ρ в плоскости xz /а/ и yz /б/ при высадке протонов под углом $\alpha=35$ град в геометрии А.
 о - ТЛД; ● - ион. камеры; ... - расчет $\rho=6,5$ см; Δ - ТЛД; \blacktriangle - ион. камеры; - - - - расчет $\rho=8,5$ см; ∇ - ТЛД; \blacktriangledown - ион. камеры; — - расчет $\rho=11,5$ см; \square - ТЛД; \blacksquare - ион. камеры; - - - - расчет $\rho=16,0$ см; \diamond - ТЛД; \blacklozenge - ион. камеры; - - - - расчет $\rho=22,0$ см.

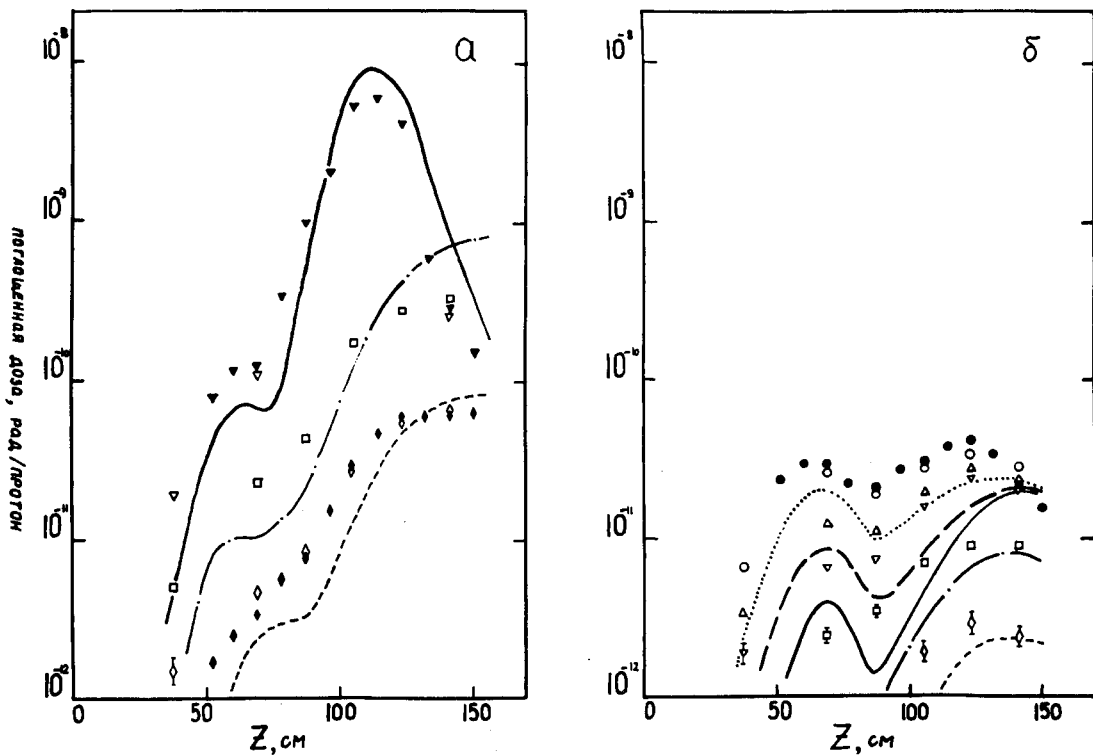


Рис. 4. То же, что и на рис. 3, но для геометрии Б и угла высадки протонов $\alpha=35$ град.

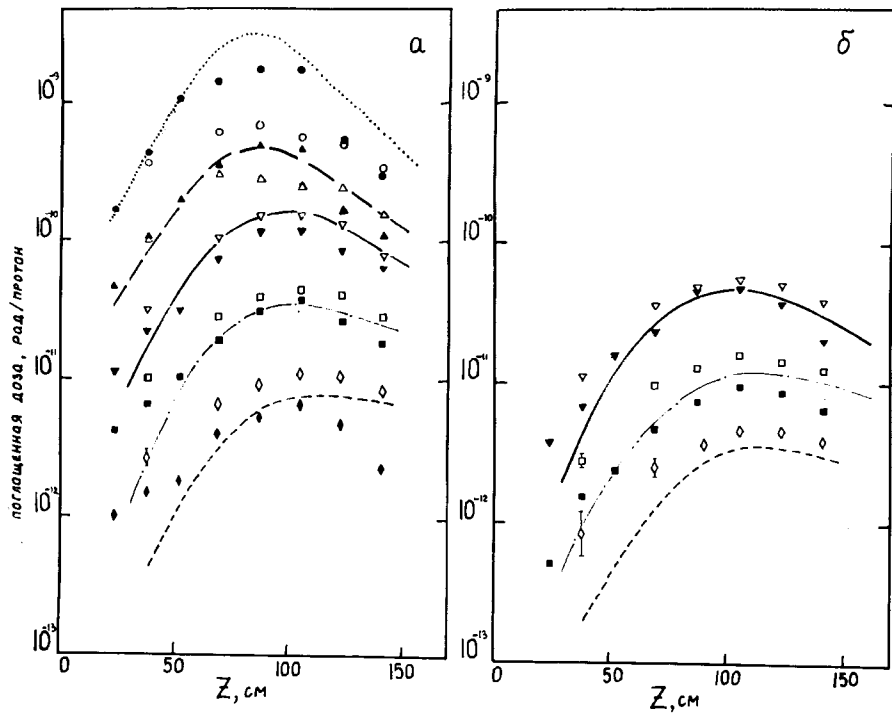


Рис. 5. То же, что и на рис. 3, для геометрии А и угла высадки протонов $\alpha = 100$ мрад.

Подводя итоги цикла исследований ^{3,6/} на установке "Модель" - геометрической копии сверхпроводящего диполя, - можно сделать ряд выводов:

а/ величина дозовых нагрузок на обмотки дипольного магнита существенно зависит от распределения потерь по апертурному углу и угла высадки протонов на ионопровод;

б/ величина энерговыделения в ядре слабо зависит от вышеуказанных параметров;

в/ поглощенная доза в обмотках магнитов на ~70% определяется заряженными частицами с $E > 20$ МэВ;

г/ вклад в дозу от низкоэнергетических нейтронов незначителен, и поэтому им можно пренебречь в практических оценках.

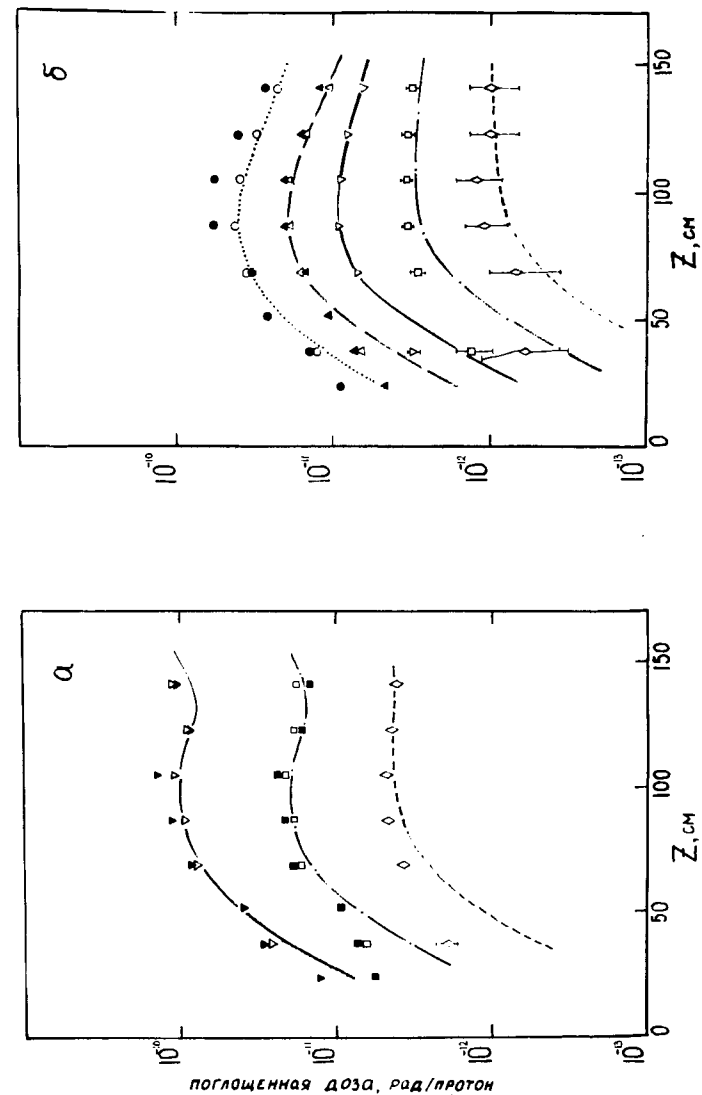


Рис. 6. То же, что и на рис. 3, для геометрии Б и угла высадки протонов $\alpha = 100$ мрад.

В заключение авторы признательны Е.Д.Клещенко, Н.М.Рублеву, Б.Д.Зельдичу, А.В.Пучкову, О.М.Негановой, В.В.Смирнову, Б.А.Чернышеву за помощь при проведении эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lambert K.P., Van de Voorde M. CERN.ISR-MA/73-54, 1973.
2. Routti J.T., Van de Voorde M. Nucl. Instr. & Meth., 1972, 99, p.563.
3. Волков В.И. и др. ОИЯИ, 16-10812, Дубна, 1977.
4. Крамер-Агеев Е.А. и др. В кн.: Вопросы дозиметрии и защиты. Вып. 2, Атомиздат, М., 1970, с.160.
5. Spurny F. Nucl.Instr. & Meth., 1976, 135, p.165.
6. Зайцев Л.Н. и др. ОИЯИ, 16-12264, Дубна, 1979, ч.2; 16-12265, Дубна, 1979, ч. 3.
7. Abdon M.A., Maynard C.W. Nucl.Sci. Eng., 1975, 56, p.381.
8. Routti J.T., Van de Voorde. CERN-ISR-MA/71-29, 1971.

Рукопись поступила в издательский отдел
8 мая 1979 года.