

**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

16-85-710

Л.Н.Зайцев¹, Г.П.Решетников, А.Е.Сырейщиков¹,
В.Б.Хвостов²

**РАСЧЕТ РАДИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ
ПРИ ПАДЕНИИ ЛЕГКИХ ЯДЕР
ПОД УГЛОМ 1 МРАД НА ЖЕЛЕЗНУЮ МИШЕНЬ**

¹ Московский инженерно-физический институт

² Институт медико-биологических проблем, Москва

1985

Для оценок перегрева обмоток магнитов необходимо знать пространственное распределение поглощенной дозы при высадке частиц на их поверхность /или поверхность ионопровода/ под малым углом ^{1/1/}.

В цикле расчетно-экспериментальных работ ^{1/2/} с моделью диполя при высадке протонов с импульсом 8,4 ГэВ/с под углами 35±100 мрад отмечается, что:

- доза в обмотке зависит от азимутального распределения потерь и угла высадки;
- вклад в дозу от нейтронов и фотонов пренебрежимо мал;
- доза на ~70% определяется ионизационными потерями заряженных частиц с энергией > 20 МэВ;
- вклад от ядерных взаимодействий ≤30%, причем вклад от фрагментов ядра мишени в дозу ~10%.

1. Расчет дозы в модели дипольного магнита /рис.1/ был проведен с помощью комплекса переносных программ ^{1/3/}, созданного на основе каскадно-испарительной модели ядро-ядерного взаимодействия ^{1/4,5/} для протонов и ядер He и C с энергией до 10 ГэВ. Источник потерь задавался в виде дельта-функции с координатами ($x=a/2, y=0$) и с равномерной по длине магнита плотностью и углом падения ядер $\alpha_{\text{д}} = 1$ мрад. Фиксировалась энергия, теряемая частицей в межъядерном каскаде, в коаксиальных заданному источнику потерь полуцилиндрах с шагом по радиусу $\Delta r = 0,1$ см за счет кулоновского и ядерного взаимодействия с атомами мишени; учитывался распад нестабильных мезонов и электрон-фотонный ливень.

Используемые при моделировании траекторий частиц в веществе статистические приближения, а также константное обеспечение программы были апробированы по результатам измерений поглощенной дозы в железе на пучках дейтронов/3,65 ГэВ-нукл.^{1/3/} в барьерной геометрии и протонов /2,55 ГэВ/ в геометрии гашения пучка в торце модели дипольного магнита ^{1/6/}. Наблюдалось хорошее согласие расчетных и экспериментальных данных в продольном и поперечном распределениях доз.

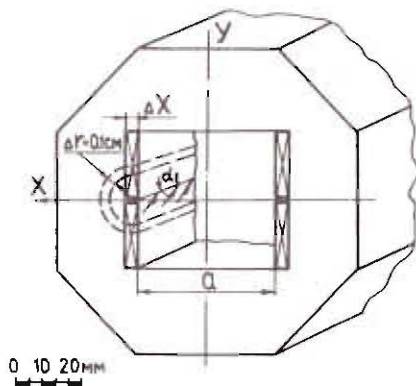


Рис.1. Геометрия расчета.

2. На рис. 2 представлены зависимости абсолютных величин вкладов от различных групп частиц в энергию, поглощенную в толщинах железа $\Delta X = 4 \text{ г}\cdot\text{см}^{-2}$ для различных ядер от их кинетической энергии E_0 . Практически вся поглощенная энергия определяется ионизационными потерями: а/ налетающих ядер, причем при $E_0 \leq 1 \text{ ГэВ}\cdot\text{нукл}^{-1}$ их вклад преобладает над вкладом от вторичной компоненты межъядерного каскада; б/ вторичной легкой заряженной компоненты, причем вклад от электрон-фотонного ливня не превышает нескольких процентов; в/ фрагментов налетающего ядра и ядер мишени ($A_F > 1, Z_F \geq 1$), здесь A_F и Z_F - атомный номер и заряд фрагмента. Кроме того, соотношение вкладов в суммарную поглощенную энергию от перечисленных групп частиц в области $E_0 \leq 1 \text{ ГэВ}\cdot\text{нукл}^{-1}$ практически не зависит от A_P - атомного номера налетающего ядра.

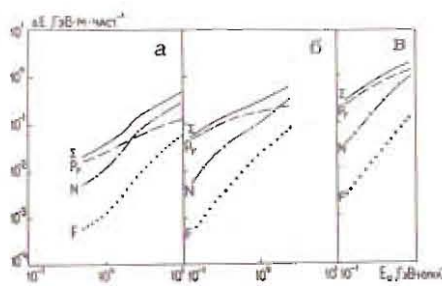


Рис. 2. Абсолютные величины вкладов от различных групп частиц в энергию, поглощенную в железе толщиной $\Delta X = 4 \text{ г}\cdot\text{см}^{-2}$ для ядер P, He, C /а, б, в соответственно/: Σ - суммарная поглощенная энергия, P_1 - вклад от первичных ядер, N - вклад от протон-мезонной компоненты, F - вклад от фрагментов.

3. При прохождении в веществе заряженная частица испытывает многократное кулоновское рассеяние на атомах мишени, что приводит при относительно малых потерях энергии к отклонению от первоначального направления движения на углы, сравнимые с углом падения на длинах траекторий, много меньших, чем длины пробегов легких ядер до неупругого взаимодействия. Следовательно, значительная часть налетающих частиц отразится от поверхности высадки, не поглотившись в мишени.

Моделирование траекторий рассеивающихся ядер осуществлялось по алгоритму, описанному в работе^{7/}. Однако функция распределения частиц по углам и координатам была получена путем решения односкоростного уравнения переноса с учетом границы мишени. В дифференциальном угловом сечении рассеяния учитывались экранировка ядра мишени электронами, когерентное рассеяние в поле ядра, рассеяние на отдельных протонах^{8,10/}. Распределение плотности зарядов бралось гауссовским для налетающих ядер и фермиевским для ядер мишени^{9/}. На рис. 3 представлены зависимости доли отраженных ядер от их энергии. Практически во всем диапазоне масс налетающих ядер и кинетических энергий /для протонов при $E_0 \leq 6 \text{ ГэВ}$ / число отраженных частиц превышает число поглощенных в мишени.

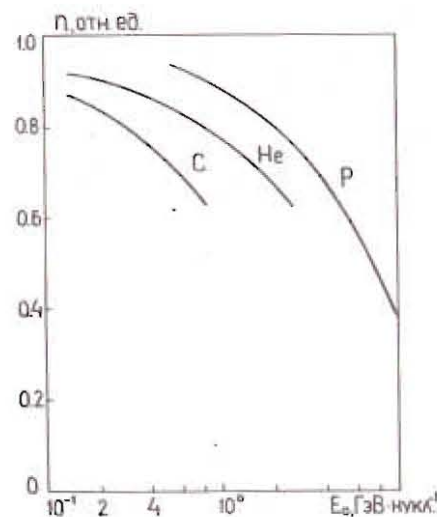


Рис. 3. Доля отраженных от железной мишени первичных ядер.

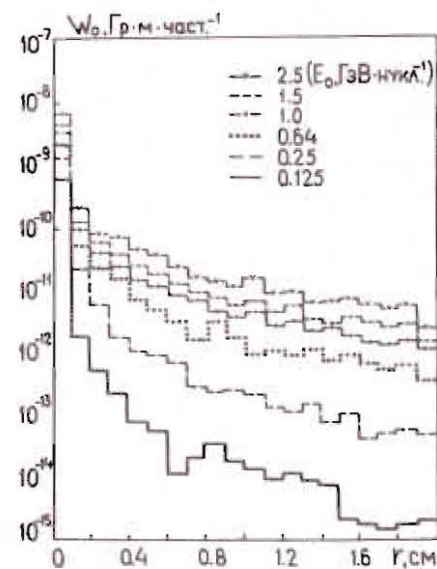


Рис. 5. Радиальные распределения дозы для налетающих ядер углерода различной энергии.

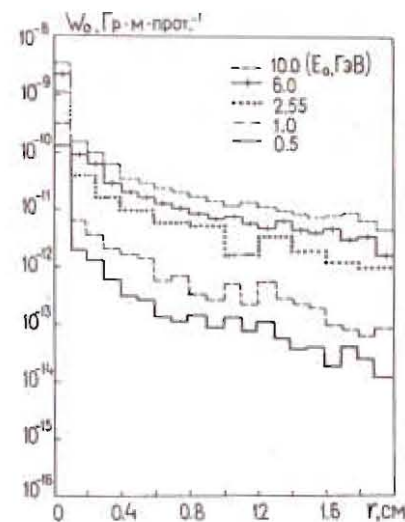


Рис. 4. Радиальные распределения дозы для налетающих протонов различной энергии.

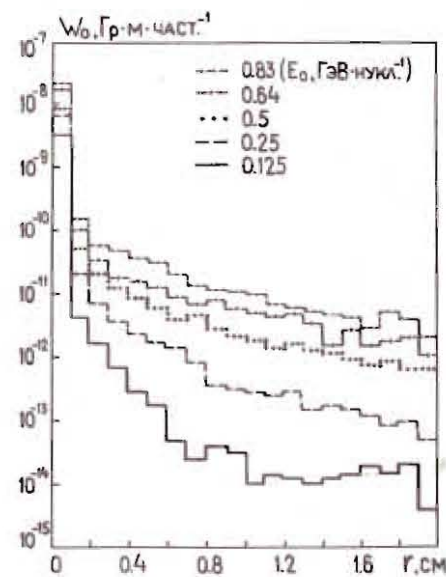


Рис. 6. Радиальные распределения дозы для налетающих ядер углерода различной энергии.

4. На рис. 4-6 представлены радиальные распределения доз при различных энергиях налетающих ядер P , He , C соответственно/. В области $r \approx 0,1$ см характерен резкий /более чем на порядок/ градиент дозы. Это объясняется тем, что на таких радиальных толщинах доза формируется за счет и налетающих ядер, и вторичных заряженных частиц, причем вклад первых значителен. С ростом A_p доза от первичных ядер растет приблизительно как Z_p^2 , а вклад от вторичной компоненты /при незначительном вкладе в дозу от фрагментов/ - не быстрее, чем A_p . Следовательно, при $E_0 \lesssim 1$ ГэВ·нукл. $^{-1}$, когда вклад от первичных частиц в поглощенную энергию преобладает, градиент в дозовом распределении с ростом A_p будет увеличиваться быстрее, чем Z_p^2 / A_p .

В рассмотренном диапазоне масс и энергий налетающих ядер при их падении на железную мишень под углом $\alpha_E = 1$ мрад поглощенная доза на толщине $\Delta X = 4$ г·см $^{-2}$ формируется за счет ионизационных потерь первичных ядер, протон-мезонной компоненты межъядерного каскада, фрагментов налетающего ядра и ядер мишени, причем вклад последних в суммарную поглощенную энергию не превышает 15%. Вклад в дозу от электрон-фотонного ливня незначителен, вкладом нейтронов и фотонов практически можно пренебречь.

Абсолютная величина дозы существенно зависит от угла падения; при $\alpha_E = 1$ мрад число отраженных от поверхности высадки легких ядер может значительно превышать число поглощенных в мишени.

Полученные радиальные распределения могут быть использованы для оценок перегревов в обмотках дипольных магнитов ускорителей при высадке легких ядер под углом $\alpha_E = 1$ мрад на стенку ионнопровода.

В заключение авторы выражают благодарность за помощь в работе В.С. Барашенкову, В.И. Иванову, Л.Г. Левчуку, А.Н. Соснину.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зайцев Л.Н. ЭЧАЯ, 1980, т.11, вып.3, с.525.
2. Зайцев Л.Н. и др. ОИЯИ, P16-12264, Дубна, 1979.
3. Барашенков В.С. и др. ОИЯИ, P2-85-124, Дубна, 1985.
4. Барашенков В.С. и др. ОИЯИ, P2-81-802, Дубна, 1981.
5. Барашенков В.С. и др. ОИЯИ, P2-83-117, Дубна, 1983.
6. Дацков В.И. и др. ОИЯИ, P16-84-677, Дубна, 1984.
7. Бритвич Г.И. и др. Препринт ИФВЭ, 76-66, Серпухов, 1976.
8. Байшев И.С. и др. Препринт ИФВЭ, 84-210, Серпухов, 1984.
9. Элтон Э. Размеры ядер. ИЛ, М., 1962.
10. Мотц Г. и др. ОИЯИ, P13-9167, Дубна, 1975.

Рукопись поступила в издательский отдел

4 октября 1985 года.

Зайцев Л.Н. и др.

16-85-710

Расчет радиального распределения поглощенной дозы при падении легких ядер под углом 1 мрад на железную мишень

Выполнены расчеты радиальных дозных распределений в дипольном магните типа "оконая рама", возникающих при падении легких релятивистских ядер под углом 1 мрад на стенки в апертуре. При проведении расчетов использован комплекс переносных программ, созданный на основе каскадно-испарительной модели ядро-ядерных взаимодействий. Для легких ядер с энергиями ~ 1 ГэВ·нукл. $^{-1}$ поглощенная доза в слое толщиной до 4 г·см $^{-2}$ формируется ионизационными потерями первичных ядер, протон-мезонной компонентой межъядерного каскада и фрагментами налетающего ядра и ядра мишени.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1985

Перевод О.С. Виноградовой

Zaitsev L.N. et al.

16-85-710

Calculation of Absorbed Dose Radial Distribution at a Fall of Light Nuclei at 1 mrad Angle to the Iron Target

Calculations of the radial dose distributions of a "window frame" type dipole magnet have been performed arising under the light relativistic nuclei fall at 1 mrad angle to the aperture walls. For the calculations the complex of transfer programs is used created on the base of cascade-evaporation model of nuclear-nuclear interactions. For light nuclei at 1 GeV/nucleon energy the absorbed dose at 4 g·cm $^{-2}$ thickness is formed by ionization loss of the initial nuclei, by proton-meson component of intranuclear cascade and by the fragments of a projectile and target-nucleus.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1985