

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

16-85-347

А.Р.Крылов, Ле Ха Тхо, Г.Н.Тимошенко

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ ПО УГЛУ
ВЫХОДЫ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ
ИЗ ТОЛСТОЙ СВИНЦОВОЙ МИШЕНИ,
ОБЛУЧАЕМОЙ РЕЛЯТИВИСТСКИМИ ПРОТОНАМИ
И ЯДРАМИ ^{12}C

1985

В настоящее время существует ряд достаточно корректных методик расчета межъядерного каскада в толстых блоках вещества при облучении их нуклонами широкого диапазона энергий, что позволяет рассчитывать поля как вторичного /из мишеней/, так и рассеянного /за защитами/ излучения на ускорителях протонов. При оценке радиационной обстановки за защитами ускорителей тяжелых ионов наименее изученными являются условия формирования вторичных полей излучения из-за недостатка данных по двойным дифференциальным сечениям ядро-ядерных взаимодействий и сечений фрагментации ядер-снарядов. С целью получения данных, пригодных для проверки методов расчета защиты на ускорителях тяжелых ионов, на канале медленного вывода синхрофазотрона ЛВЭ были изучены поля вторичного излучения из толстой /диаметр 100 мм, толщина по пучку 130 мм/ медной мишени, генерируемые при облучении ее протонами, α -частицами и ядрами ^{12}C с энергией 3,65 ГэВ/нуклон. Такая ситуация имитирует случай высадки выведенного пучка на конструкционных деталях систем его транспортировки. В ходе нескольких экспериментов были исследованы инклюзивные спектры нейтронов под двумя углами с энергией более 10 МэВ при облучении мишени ядрами ^{12}C ¹, выход адронов из мишени и их угловые распределения ², а также угловые распределения заряженных частиц ³ при облучении мишени протонами, α -частицами и ядрами ^{12}C .

Данные настоящей работы, в которой приведены угловые распределения заряженных частиц из толстой свинцовой мишени, дополняют результаты работы ³. Толщина свинцовой мишени по пучку /170 мм/ выбиралась из соображений ее эквивалентности по числу неупругих взаимодействий ядер ^{12}C медной мишени, использованной в предыдущих измерениях. Значения $\sigma_{\text{ин}}$ для $^{12}\text{C} + \text{Cu}$ и $^{12}\text{C} + \text{Pb}$ рассчитывались по формуле ⁴. Результаты измерений, нормированные на одну упавшую на мишень частицу, представлены на рис. 1. Угловые распределения заряженных частиц /нижние пороги энергий протонов и π -мезонов - 45 и 20 МэВ соответственно/ из Pb-мишени аппроксимируются выражениями:

$$dN_c(\Theta) / d\Omega = 7,30 \exp(-3,75 \cdot 10^{-2} \Theta),$$

$$dN_p(\Theta) / d\Omega = 0,77 \exp(-3,70 \cdot 10^{-2} \Theta),$$

здесь Θ - в градусах.

Необходимо отметить, что с точки зрения условий развития межъядерного каскада, из-за различия в длинах пробегов вторич-

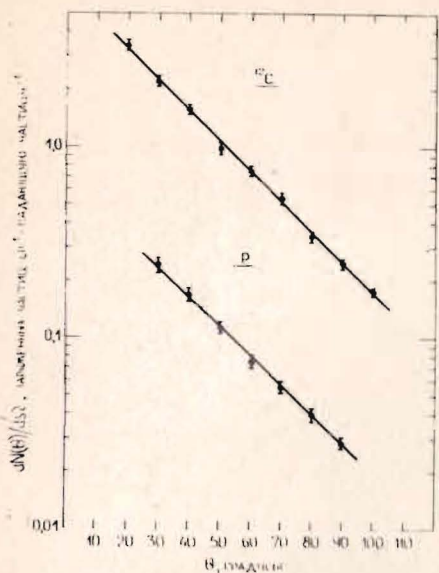
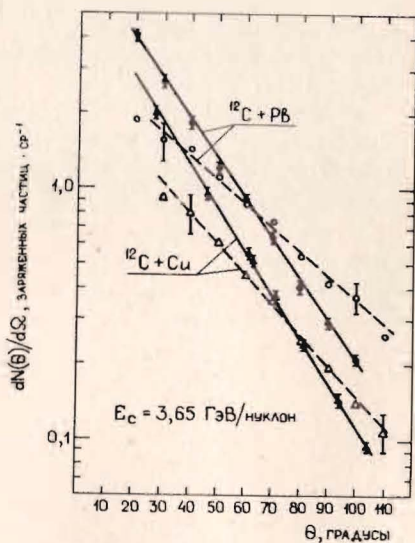


Рис.1. Угловые распределения заряженных частиц из Рb-мишени $/E_p = E_c = 3,65 \text{ ГэВ/нуклон}/$.

Рис.2. Угловые распределения заряженных частиц из Си- и Рb-мишени, нормированные на неупругое взаимодействие в них ядра ^{12}C (Δ, \bullet) и угловые распределения протонов $/60 \leq E_p \leq 300 \text{ МэВ}/$ в $^{12}\text{C} + \text{Cu}$ и $^{12}\text{C} + \text{Pb}$ взаимодействиях (Δ, \circ)^{15/}. Сплошные линии - аппроксимация экспериментальных данных методом наименьших квадратов; пунктир - результат графического интерполирования.



ных адронов в Си- и Рb-мишенях и различия ионизационных потерь энергии вторичных заряженных частиц, эквивалентность обеих мишеней является относительной. Однако сравнение результатов настоящей работы и результатов, полученных с Си-мишенью^{13/}, указывает на слабую зависимость формы угловых распределений заряженных частиц от атомных весов ядер-снарядов и мишеней.

На рис.2 приведено сравнение угловых распределений заряженных частиц из толстых Рb-и Си-мишеней /сплошные линии/ и протонов от ядро-ядерных $/^{12}\text{C} + \text{Pb}$ и $^{12}\text{C} + \text{Cu}$ / взаимодействия /пунктирные линии/, нормированных на одно неупругое взаимодействие ядра-снаряда. Данные по ядро-ядерным взаимодействиям получены интегрированием инклюзивных спектров протонов в интервале энергий $60 \pm 300 \text{ МэВ}$ ^{15/}. Видно, что угловые распределения

в случае толстых мишеней более анизотропны. Это обусловлено наличием ионизационных потерь энергии и энергетической зависимостью длины ослабления адронов в веществе, играющими роль преимущественно под большими углами из-за смягчения спектров, а также существенно большим энергетическим диапазоном регистрации частиц в измерениях с толстыми мишенями. Угловые распределения протонов от ядро-ядерных взаимодействий^{15/} обнаруживают заметную тенденцию к увеличению изотропности с ростом атомного веса мишени, что связано, видимо, с ужесточением в целом спектров вторичных частиц, вылетающих в переднюю полусферу. Подобная тенденция в случае толстых мишеней сильно нивелируется ионизационными потерями энергии, каскадными процессами и взаимодействием фрагментов ядра-снаряда с веществом мишени, что приводит к тому, что форма угловых распределений становится практически независимой от атомных весов ядер-снарядов и мишеней.

Экспериментальные значения коэффициентов пропорциональности между выходами заряженных частиц, вылетающих из Рb-и Си-мишеней в диапазоне углов $30^\circ - 90^\circ$ при их облучении ядрами ^{12}C , и аналогичными выходами при облучении Рb-и Си-мишеней протонами, совпадают в пределах ошибок $/9,4 \pm 1,2$ и $7,7 \pm 0,9$ ^{13/} соответственно*, несмотря на существенное различие в атомных весах ядер-мишеней. Значение коэффициента пропорциональности между выходами заряженных частиц для Си-мишени, полученное в независимых измерениях с помощью термолюминесцентных детекторов^{16/}, хорошо согласуется с данными работы^{13/}. Отношение выходов заряженных частиц в том же диапазоне углов при бомбардировке протонами Рb-и Си-мишеней составляет 1,25.

В работе^{17/} приведены расчеты выхода нейтронов с энергией более 100 МэВ с задней и боковой поверхностей железной цилиндрической мишени диаметром 40 см, толщиной 60 см, облучаемой ядрами с атомными весами от 1 до 250 и энергией 3 ГэВ/нуклон. На рис.3 представлена расчетная зависимость отношения выходов нейтронов из мишени, генерируемых в ней ядрами и протонами от атомного веса ядра-снаряда, а также экспериментальные значения коэффициентов пропорциональности, полученные в наших измерениях выходов заряженных частиц из медной мишени диаметром 10 см, толщиной 13 см при облучении ее пучками протонов, α -частиц и ядер ^{12}C с энергиями 3,65 ГэВ/нуклон. Несмотря на существенную разницу в размерах мишени /их атомные веса и средние энергии взаимодействующих на толщине мишеней ядер-снарядов сравнимы между собой/, наблюдается неплохое согласие расчета и экспериментов.

* Выходы частиц нормировались на один падающий на мишень протон и одно ядро ^{12}C .

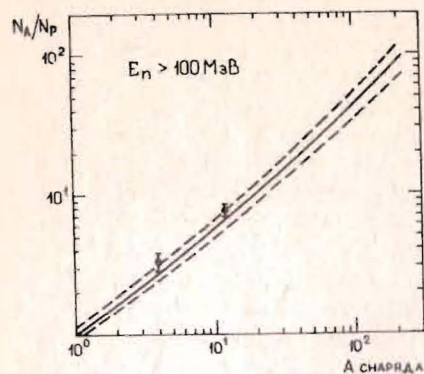


Рис.3. Сравнение расчетных отношений выходов нейтронов из толстой железной мишени при облучении ее ядрами с атомными весами A и протонами $^{7/}$ с измеренными $^{8/}$ отношениями выходов заряженных частиц из толстой медной мишени, облучаемой ядрами с $A=4$, $A=12$ и протонами. Пунктиром нанесен коридор погрешностей расчета.

Таким образом, есть основания считать, что сравнительный подход $^{7,8/}$ к оценке полей вторичного излучения, возникающих при ускорении релятивистских ядер, может быть использован в качестве первого приближения при прогнозировании радиационной обстановки на ускорителях тяжелых ионов.

Авторы выражают благодарность М.М.Ксмочкову и В.П.Бамблевскому за полезные обсуждения, А.Д.Никитину и В.Г.Жбанкову за помощь в проведении экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алейников В.Е. и др. ОИЯИ, Р16-85-97, Дубна, 1985.
2. Бамблевский В.П. ОИЯИ, 16-85-35, Дубна, 1985.
3. Алейников В.Е., Тимошенко Г.Н. ОИЯИ, 16-83-359, Дубна, 1983.
4. Ставинский В.С. ОИЯИ, 2-80-66, Дубна, 1980.
5. Адыяевич Б.П. и др. ЯФ, 1984, т.40, вып.2/8/.
6. Касканов Г.Я., Комочков М.М. ОИЯИ, 16-85-348, Дубна, 1985.
7. Gabriel T.A., Bishop V.L., Lillie R.A. ORNL/TM-8952, 1984.
8. Комочков М.М. ОИЯИ, Р16-82-432, Дубна, 1982.

Рукопись поступила в издательский отдел
13 мая 1985 года.

Крылов А.Р., Ле Ха Тхо, Тимошенко Г.Н. 16-85-347
Дифференциальные по углу выходы заряженных частиц из толстой свинцовой мишени, облучаемой релятивистскими протонами и ядрами ^{12}C

Измерены угловые распределения заряженных частиц, вылетающих из толстой свинцовой мишени, облучаемой протонами и ядрами ^{12}C с энергией 3,65 ГэВ/нуклон. Полученные данные использованы для проверки основных допущений модели эквивалентных протонов, предложенной для оперативной оценки радиационной обстановки на ускорителях тяжелых ионов.

Работа выполнена в Отделе радиационной безопасности и радиационных исследований ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1985

Перевод О.С.Виноградовой

Krylov A.R., Le Ha Tho, Timoshenko G.N. 16-85-347
Charged Particle Angular Distributions from Relativistic Protons and Carbon-12 Ions Irradiating a Thick Lead Target

The angular distributions of charged particles around a thick lead target irradiated by 3.65 GeV/nucleon carbon ions and protons have been measured. The results obtained are intended for examination of the main assumptions of the model of equivalent protons, suggested for operational estimating of radiation environment on heavy ions accelerators.

The investigation has been performed at the Department of Radiation Safety and Radiation Researches, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1985