

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

4237/83

15/8-83
16-83-359

В.Е.Алейников, Г.Н.Тимошенко

УГЛОВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ПОТОКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ
ИЗ ТОЛСТОЙ МИШЕНИ,
ОБЛУЧАЕМОЙ $\rho, \alpha, {}^{12}\text{C}$
С ЭНЕРГИЕЙ 3,65 ГэВ/НУКЛОН

Направлено в журнал "Атомная энергия"

1983

В данной работе исследованы угловые распределения потоков заряженных частиц, вылетающих из толстой мишени, облучаемой релятивистскими ядрами. Измерения выполнены на канале медленного вывода синхрофазотрона Лаборатории высоких энергий на пучках протонов, α -частиц и ядер ^{12}C с энергией 3,65 ГэВ/нуклон в ходе нескольких сеансов. Мишенью служил медный цилиндр диаметром 100 и толщиной по пучку 130 мм, установленный в фокусе пучка. Мониторинг осуществлялся чувствительной ионизационной камерой /МК/, помещенной в пучке на выходе ионопровода, а также, в некоторых сеансах, телескопом счетчиков S_{M1} и S_{M2} , ориентированным на мишень под углом 90° к направлению пучка /см. рис.1/. Толщина камеры по пучку - $5,1 \cdot 10^{-2}$ г/см². Калибровка МК на пучке релятивистских ядер ^{12}C и α -частиц проводилась с помощью телескопа быстрых счетчиков, устанавливаемого в пучке за МК в отсутствие мишени при сниженной интенсивности выведенного пучка. При калибровке МК на пучках α -частиц и протонов с интенсивностями более 10^5 част/цикл, для проверки линейности показаний камеры в широком диапазоне интенсивностей пучка использовались активационные детекторы. Погрешность измерений потока ядер ^{12}C , упавших на мишень, менее 5%, протонов ~7% и α -частиц - менее 10%. Большие значения погрешностей для протонов и α -частиц вызваны тем, что на пучке α -частиц нормировка показаний МК к показаниям счетного телес-

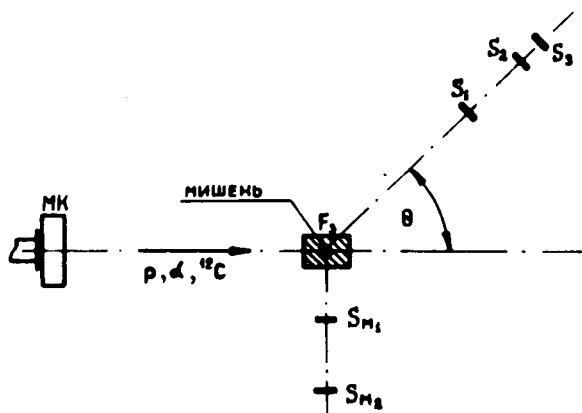
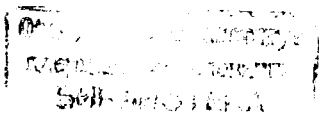


Рис.1. Геометрия эксперимента. МК - мониторная камера пучка. S_{M1}, S_{M2} - мониторный и S_1, S_2, S_3 - измерительный телескопы счетчиков.



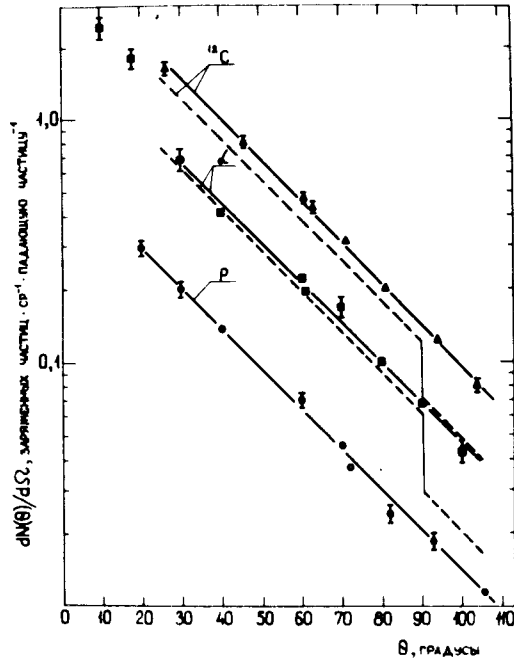


Рис.2. Угловые распределения потоков заряженных частиц из мишени при облучении ее ядрами ^{12}C , α , p . ———— эксперимент, - - - - - расчет по модели эквивалентных протонов для интервалов углов $0 \div \pi/2$ и $\pi/2 \div \pi$.

копа проводилась с помощью активационных детекторов; на пучке протонов счетный телескоп не использовался, а калибровка камеры осуществлялась только активационными детекторами. Таким образом, точность калибровки МК на протонах и α -частицах определялась, в основном, точностью измерения активности активационных детекторов.

Выходы вторичных заряженных частиц из мишени в диапазоне углов от 10° до 105° относительно направления пучка измерялись с помощью телескопа из трех счетчиков S_1 , S_2 , S_3 с угловым разрешением $0,6^\circ$. Энергетические пороги измерительного телескопа по вторичным p , π , d , t , α равны 42, 18, 57, 68, 168 МэВ соответственно. Результаты измерений, нормированные на одну падающую на мишень частицу, приведены на рис.2. Угловые распределения хорошо аппроксимируются следующими экспоненциальными зависимостями в диапазоне углов от 25° до 105° , полученными по экспериментальным данным методом наименьших квадратов /здесь θ в градусах/:

$$dN_c(\theta)/d\Omega = 5,32 \exp(-4,0 \cdot 10^{-2} \theta)$$

$$dN_\alpha(\theta)/d\Omega = 2,08 \exp(-3,8 \cdot 10^{-2} \theta)$$

$$dN_p(\theta)/d\Omega = 0,65 \exp(-3,9 \cdot 10^{-2} \theta).$$

/1/

Результаты данной работы использованы для оценки степени корректности основного допущения метода эквивалентных протонов, изложенного в работе /1/, где предложен простой подход к решению задачи определения характеристик полей вторичного излучения из мишеней, облучаемых релятивистскими ядрами в диапазоне энергий от 100 МэВ до 10 ГэВ. Под мишенями, в случае оценки радиацион-

ной обстановки, могут пониматься также элементы конструкций ускорителя, облучаемые ядрами в процессе ускорения, вывода и транспортировки. Под толстой мишенью подразумевается мишень, в формировании поля вторичного излучения из которой начинает играть заметную роль межъядерный каскад. Данный метод предложено применять для оперативной оценки с достаточной точностью ряда дозиметрических параметров полей излучения как вблизи мишеней, так и за защитой ускорителей тяжелых ионов. Суть метода эквивалентных протонов /1/ сводится к следующему. Предполагается, что характеристики поля вторичных адронов (K_i), вылетающих из данной мишени при облучении ее ядрами с энергией E на нуклон ядра, связаны с аналогичными характеристиками поля вторичных адронов из той же мишени (K_p) при облучении ее протонами с той же энергией E простым соотношением:

$$K_i = N_{ip} K_p,$$

где N_{ip} - коэффициент пропорциональности, зависящий от материала мишени и от типа налетающего иона. Коэффициенты пропорциональности при сравнении угловых распределений потоков заряженных частиц рассчитывались по формулам /1/:

$$N_{ip} = \begin{cases} 0,51 A_i^{1/2} (1 + 0,29 \ln A_{Cu}) [1 - \exp(-\sigma_{in}^i nd)] / [1 - \exp(-\sigma_{in}^p nd)] & \theta = 0 \div \pi/2, \\ 0,09 A_i^{1/2} (1 + 1,2 \ln A_{Cu}) [1 - \exp(-\sigma_{in}^i nd)] / [1 - \exp(-\sigma_{in}^p nd)] & \theta = \pi/2 \div \pi. \end{cases}$$

Здесь: A_i , A_{Cu} - атомные веса ядра-снаряда и мишени; p - число ядер в см^3 мишени; d - толщина мишени по пучку; σ_{in}^i , σ_{in}^p - сечения неупругого взаимодействия ядра-снаряда и протона с материалом мишени, причем σ_{in}^i рассчитывалось по формуле /2/, а σ_{in}^p бралось равным $0,72 \cdot 10^{-24} \text{ см}^2$. Значения коэффициентов N_{ip} , полученные по приведенным формулам, составляют 6,0; 3,58 и 3,1; 1,5 для ядер ^{12}C и α -частиц в интервалах углов $0 \div \pi/2$ и $\pi/2 \div \pi$ соответственно. На рис.2 пунктиром нанесены расчетные угловые распределения в интервалах от 25° до 90° и от 90° до 105° , полученные в рамках модели эквивалентных протонов. Весьма малые различия в показателях экспонент, аппроксимирующих экспериментальные данные /1/, свидетельствуют, что допущение о подобии формы угловых распределений от протонов, α -частиц и ядер ^{12}C является вполне корректным. Отношение выходов заряженных частиц в интервале $25^\circ \div 90^\circ$ для измеренных угловых распределений от ядер ^{12}C и α -частиц к аналогичному выходу от протонов, составляет 7,69 и 3,32 соответственно, что говорит об удовлетворительном согласии предложенной модели с экспериментом. В данной модели не учитывался выход заряженных частиц от взаимодействий с мишенью фрагментов ядер-снарядов; учет этого фактора приведет, по-видимому, к лучшему согласию расчетов с экспериментом. В целом следует отметить, что так как поглощенная и эквивалентная

дозы в поле излучения определяются не только потоком частиц, но и их энергией, весьма важной для оценки применимости метода эквивалентных протонов является проверка адекватности расчетных и экспериментальных спектрально-угловых распределений вторичных адронов из мишени, облучаемой различными ионами.

Авторы выражают благодарность М.М.Комочкову за полезные обсуждения и В.П.Бамблевскому за помощь в проведении экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комочков М.М., ОИЯИ, Р16-82-432, Дубна, 1982.
2. Ставинский В.С. ОИЯИ, 2-80-66, Дубна, 1980.

Рукопись поступила в издательский отдел
2 июня 1983 года.

Алейников В.Е., Тимошенко Г.Н. 16-83-359
Угловые распределения потоков заряженных частиц
из толстой мишени, облучаемой $p, \alpha, {}^{12}\text{C}$ с энергией
3,65 ГэВ/нуклон

Измерены выходы вторичных заряженных частиц, вылетающих из толстой медной мишени в диапазоне углов $10^\circ \div 105^\circ$ при облучении ее ядрами ${}^{12}\text{C}$, α -частицами и протонами с энергией 3,65 ГэВ/нуклон. Сравнение результатов с расчетами по модели эквивалентных протонов, предложенной для оперативной оценки радиационной обстановки на ускорителях тяжелых ионов, говорит о корректности основных допущений этой модели.

Работа выполнена в Отделе радиационной безопасности и радиационных исследований ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Alejnikov V.E., Timoshenko G.N. 16-83-359
Charged Particles Angular Distributions from 3,65 GeV/Nucleon
 $p, \alpha, {}^{12}\text{C}$ Irradiating a Thick Target

The angle distributions of charged particles in angles range from 10° to 105° around a thick copper target irradiated by 3,65 GeV/nucleon carbon ions, alphas and protons has been measured. The results of comparing calculations according to the model of equivalent protons, suggested for estimating radiation environment on heavy ions accelerators with experimental date confirmed the main assumptions of this model.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой.