

**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

16-86-486

В.П.Бамблевский, А.Р.Крылов, Г.Н.Тимошенко

**СРАВНЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ
И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПОЛЕЙ ВТОРИЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
ВБЛИЗИ ТОЛСТЫХ МИШЕНЕЙ,
ОБЛУЧАЕМЫХ
ЛЕГКИМИ РЕЛЯТИВИСТСКИМИ ЯДРАМИ**

1986

Проектирование и создание ускорителей релятивистских ядер ставит перед физикой защиты определенные задачи. Современные расчетные методики позволяют достаточно корректно описывать поля вторичного адронного излучения из толстых мишеней, облучаемых пучками протонов. Эти данные используются при оценках радиационной обстановки за биологическими защитами. На ускорителях релятивистских ядер первоочередной задачей является изучение закономерностей формирования полей вторичного излучения от мишеней и конструктивных деталей ускорителей, расчеты же защит могут осуществляться затем по этим данным методами, традиционными для высокоэнергетических протонных ускорителей.

В настоящей работе приводятся результаты сравнения дифференциальных характеристик полей вторичного адронного излучения из толстых медной и свинцовой мишеней, облучаемых протонами и ядрами ^{12}C с энергией 3,65 ГэВ/нуклон, полученных расчетным путем по программе "JONCAS" и экспериментально^{/1-3/}. Для описания ядроядерных взаимодействий в программе используется модель "файрстрик"^{/4/}, по которой рассчитываются двойные дифференциальные сечения образования нейтронов, протонов и π -мезонов в А-А столкновениях. Двойные дифференциальные сечения образования адронов в адрон-ядерных взаимодействиях рассчитывались по программе "D2N2"^{/5/}. Исползованная версия программы "JONCAS" предназначена для расчета межъядерного каскада в цилиндрической мишени при нормальном падении в центр ее торца бесконечно узкого пучка ядер с энергией несколько ГэВ/нуклон. Программа реализует метод последовательных столкновений^{/6/} в приближении первых двух взаимодействий, вследствие чего размеры мишени сравнимы со средней длиной пробега вторичных адронов с энергией несколько сотен МэВ в веществе мишени.

В работе^{/1/} приведены угловые зависимости выходов адронов с энергией более 20 МэВ, вылетающих из медной мишени ϕ 10 см и толщиной по пучку 13 см, облучаемой протонами и ядрами ^{12}C , полученные с помощью углеродсодержащих активационных детекторов. На рис.1 приведено сравнение экспериментальных данных и расчетных выходов нуклонов в диапазоне углов $10 - 140^\circ$ относительно направления пучка частиц. Для определения вклада заряженных π -мезонов, вылетающих из мишени, в выход адронов были рассчитаны спектры π -мезонов под углами 20° , 70° , 120° ; их вклад под этими углами составил, соответственно, 6,9%, 1,1%, 0,7%. Поскольку погрешности численного интегрирования при расчетах спектрально-угловых распределений нуклонов $\sim 10\%$, вклад π -мезонов при сравнении с экспериментом не учитывался.

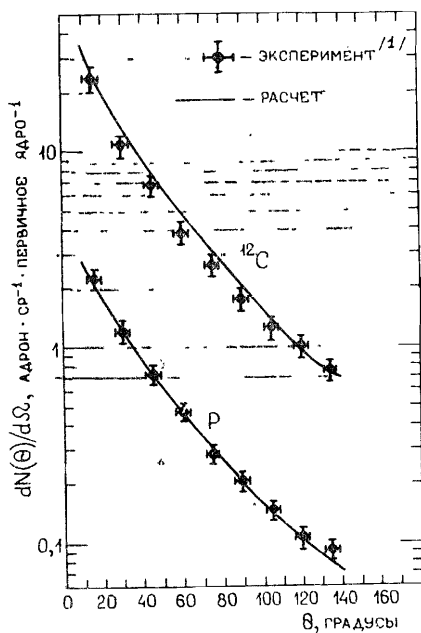


Рис.1. Угловые зависимости выходов адронов с энергией более 20 МэВ из толстой медной мишени, облучаемой протонами и ядрами ^{12}C с энергией 3,65 ГэВ/нуклон.

Более корректным сравнением расчетных и экспериментальных результатов из работы /1/ является сравнение активации углеродсодержащих детекторов, непосредственно измерявшейся в эксперименте, и аналогичных величин, полученных путем свертки сечений реакций $^{12}\text{C}(p, pn)^{11}\text{C}$, $^{12}\text{C}(n, 2n)^{11}\text{C}$ с расчетными спектрально-угловыми распределениями. В угловом интервале $15^\circ - 135^\circ$ эти величины согласуются в пределах экспериментальных и расчетных погрешностей, что подтверждает корректность расчетов дифференциальных по углу характеристик

полей вторичного излучения вблизи толстой медной мишени. Расчетные выходы нуклонов из мишени, полученные интегрированием угловых распределений в диапазоне углов $15^\circ - 135^\circ$ при облучении толстой медной мишени 1 ядром ^{12}C и протоном, составляют $47,8 \pm 4,5/$ и $4,6 \pm 0,3/$; экспериментальные значения /1/ равны соответственно $44 \pm 7/$ и $4,8 \pm 0,7/$. Аналогичные расчетные и экспериментальные угловые зависимости выходов адронов с энергией более 20 МэВ, вылетающих из свинцовой мишени ϕ 10 см и толщиной 17 см, облучаемой протонами и ядрами ^{12}C , представлены на рис.2. Расчетные значения выходов нуклонов из свинцовой мишени при падении на нее 1 ядра ^{12}C и 1 протона составляют $35,3 \pm 1,6/$ и $5,4 \pm 0,4/$; экспериментальные значения выходов - $49 \pm 7/$ и $5,9 \pm 0,9/$ соответственно.

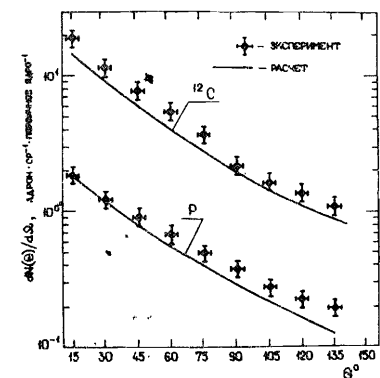


Рис.2. Угловые зависимости выходов адронов с энергией более 20 МэВ из толстой свинцовой мишени, облучаемой протонами и ядрами ^{12}C с энергией 3,65 ГэВ/нуклон.

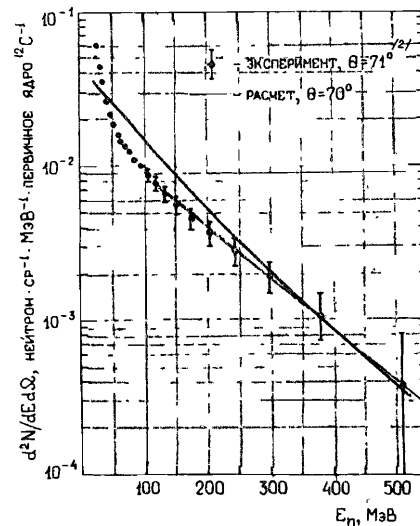
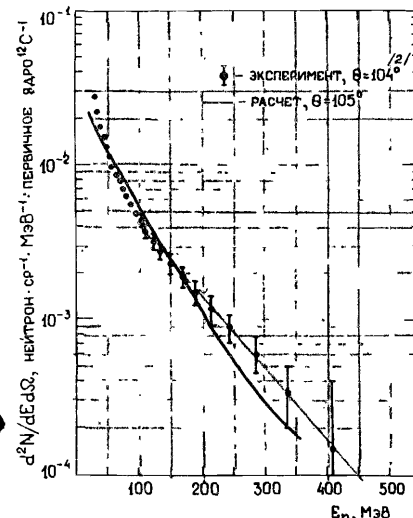


Рис.3. Спектр нейтронов, вылетающих из толстой медной мишени под углом 70° при облучении ее ядрами ^{12}C с энергией 3,65 ГэВ/нуклон.

Рис.4. Спектр нейтронов, вылетающих из толстой медной мишени под углом 105° при облучении ее ядрами ^{12}C с энергией 3,65 ГэВ/нуклон.



времени пролета /2/ спектры нейтронов из толстой медной мишени под углами 70° и 105° . На рисунках не указана погрешность численного интегрирования. Видно, что расчеты, в целом, правильно отражают характер спектральных распределений в область энергий более 50 МэВ; при этом различие в величинах спектров не превышает 50-60%. Расчетные выходы нейтронов с энергией более 20 МэВ в 1 ср под углами 70° и 105° отличаются от экспериментальных значений соответственно на 24% и 16%. Поведение расчетных спектров в области низких энергий /менее 50 МэВ/ отличается от экспериментальных результатов, по-видимому, вследствие того, что в модели "файрстрик" не учтены испарительные процессы в ядре-мишени после ядро-ядерного взаимодействия, и описание межъядерного каскада ограничено двумя первыми поколениями. Однако для целей расчета дозы за защитой это различие не является принципиальным, т.к. в формировании полей излучения за защитой определяющую роль играют нейтроны вторичного излучения с энергией более 100 МэВ. К тому же оценки показали, что учет нейтронов третьего поколения приведет к увеличению выхода нейтронов из толстой медной мишени на несколько процентов. Расчет спектров протонов и π -мезонов под углами 70° и 160° позволил сравнить

вклад заряженного компонента в выход адронов с экспериментально полученными результатами/3/. Так, для $\theta = 70^\circ$ экспериментальное отношение выхода заряженных частиц к выходу адронов составило 10,2%, а расчеты дают значение этого отношения 14%. Для угла 105° и расчетное и экспериментальное отношение составляет 5%.

В программе "IUNCAS" не учтены некоторые процессы, например межъядерный каскад от фрагментов ядер-снарядов. Оценки, сделанные на основании работы/7/, показали, что доля адронов, образованных в результате взаимодействия на толщине медной мишени фрагментов ядер-снарядов, не превысит 25%. Однако хорошее, в целом, согласие расчетов дифференциальных и интегральных характеристик полей вторичного адронного излучения, возникающего при работе на пучках легких релятивистских ядер, позволяет использовать программу "IUNCAS" для получения исходных данных по расчету радиационной обстановки за боковой защитой с достаточной точностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бамблевский В.П. ОИЯИ, 16-85-35, Дубна, 1985.
2. Алейников В.Е., Солодилов А.В., Тимошенко Г.Н. ОИЯИ, P16-85-97, Дубна, 1985.
3. Алейников В.Е., Тимошенко Г.Н. АЭ, 1983, т.55, вып.6, с.142.
4. Myers W.D. Nucl.Phys., 1978, v.A296, p.177.
5. Сычев Б.С., Серов А.Я., Манько Б.В. Препринт РТИ, № 799, М., 1979.
6. Сычев Б.С. ОИЯИ, P9-3269, Дубна, 1967.
7. Olson D.L. et al. Phys.Rev. 1983, C, v.28, No.4, p.1602.

Рукопись поступила в издательский отдел
15 июля 1986 года.

Бамблевский В.П., Крылов А.Р., Тимошенко Г.Н. 16-86-486
Сравнение расчетных и экспериментальных характеристик полей вторичного излучения вблизи толстых мишеней, облучаемых легкими релятивистскими ядрами

Приведены результаты сравнения расчетов по программе IUNCAS с экспериментальными данными по интегральным и дифференциальным характеристикам полей вторичного адронного излучения вблизи толстых медной и свинцовой мишеней. Мишени облучались протонами и ядрами ^{12}C с энергией 3,65 ГэВ/нуклон. Хорошее согласие расчетов с экспериментами позволяет использовать программу IUNCAS для получения исходных данных для расчета радиационной обстановки за боковыми защитами ускорителей легких релятивистских ядер.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С.Виноградовой

Bamblevskij V.P., Krylov A.R., Timoshenko G.N. 16-86-486
The Comparison of Calculated and Experimental Data on Secondary Field Characteristics Near Thick Targets Irradiated by Light Relativistic Nuclei

The results of comparison of experimental and calculated with the aid "IUNCAS" program data on secondary hadronic field integral and differential characteristics near thick copper and lead targets are described. The target were irradiated by protons and ^{12}C ions with 3.65 GeV/nucleon energy. The good agreement between experiments and calculations allowed one to use the "IUNCAS" program as initial data for calculations of radiation environment behind the relativistic light ion accelerator shieldings.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986