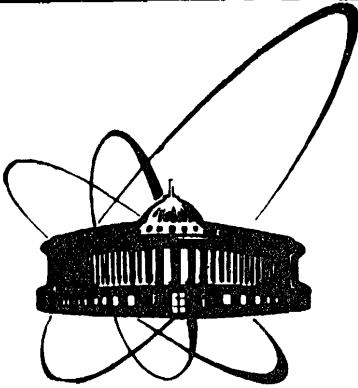


87-824

ЛВТА



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P2-87-824

А.Полянски, А.Н.Соснин

УГЛОВЫЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕЙТРОНОВ,
РОЖДЕННЫХ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПУЧКА
ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ИОНОВ

Направлено в журнал "Атомная энергия"

1987

В настоящей работе представлены результаты вычислений угловых и энергетических характеристик нейтронов, рожденных при взаимодействиях протонов и ионов c^{12} с энергиями 3,65 ГэВ/нуклон. В работе использована версия программы "КАСКАД"^{/1/}, предназначенная для вычислений периода излучения (адронов, ионов) через блоки вещества. В нее включен модуль сложной геометрии CG^{/2/}, который позволяет моделировать пробеги частиц между ядерными столкновениями в произвольной геометрии. Принцип работы геометрического модуля заключается в том, что рассматриваемая область разбивается на зоны, каждая из которых может быть описана как сумма или произведение множеств простых геометрических фигур. Зоны могут отличаться по своему составу. Для простых конфигураций можно использовать отдельный блок цилиндрической формы. В этом случае быстродействие программы выше, чем в случае сложной геометрии.

В настоящую версию программы "КАСКАД" включена подпрограмма TEION, которая позволяет вычислять пробеги частиц и потери энергии ионов в широкой области энергий от нескольких кэВ до сотен ГэВ. В программе "КАСКАД" расчет неупругих взаимодействий ядер выполняется на основе механизма внутриядерных каскадов^{/3,4,5/}, в котором суммарное взаимодействие рассматривается как разветвления последовательности некогерентных взаимодействий быстрых частиц с отдельными внутриядерными нуклонами. Ядра рассматриваются как нуклонный ферми-газ в потенциальной яме. Взаимодействия ядер представляют собой суперпозицию двухчастичных нуклон-нуклонных и пион-нуклонных столкновений, которые могут иметь место как в области перекрытия ядер, так и внутри каждого ядра в отдельности^{/6/}. Распад возбужденных ядер, остающихся после вылета каскадных частиц, рассчитывается с помощью испарительной модели^{/3/}.

В данной работе приводится сравнение результатов вычислений и данных, полученных в эксперименте, выполненном на пучке ионов c^{12} с энергией 3,65 ГэВ/нуклон^{/7,8/}.

На рис. I представлены угловые зависимости выходов адронов, нейтронов с энергией свыше 20 МэВ и нейтронов с энергией меньше 20 МэВ, вылетающих из медной мишени, имеющей размеры $R = 5$ см, $L = 13$ см,

облучаемой ионами C^{12} . Крестами обозначены результаты экспериментов для всех адронов. Эксперименты выполнены с помощью углеродсодержащих активационных детекторов [7].

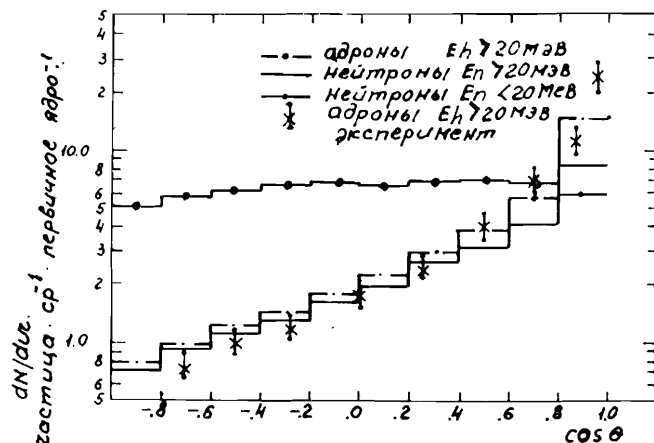


Рис.1. Угловые зависимости выходов адронов, нейтронов с энергией больше 20 МэВ и нейтронов с энергией меньше 20 МэВ, рождающихся при взаимодействиях ионов C^{12} с медной мишенью при энергии пучка 3,65 ГэВ/нуклон.

Полученные результаты хорошо согласуются в пределах экспериментальных и расчетных погрешностей, что подтверждает корректность расчетов. Из рисунка I видно, что в интервале углов от 90° до 180° из мишени вылетают прежде всего нейтроны с энергией меньше 20 МэВ. В этом интервале углов количество вылетающих адронов и высокоэнергетических нейтронов совпадает. Это означает подавляющий вклад нейтронной компоненты в потоке излучений, покидающих мишень.

Расчетные выходы высокоэнергетических адронов и нейтронов, полученные интегрированием угловых распределений, равны соответственно $43,9 \pm 2,7$ и $32,4 \pm 2,4$, экспериментальное значение выхода нуклонов с энергией более 20 МэВ равно 44 ± 7 [7].

На рис.2 представлены угловые распределения адронов и нейтронов, вылетающих из мишени, облучаемой протонным пучком с энергией 3,65 ГэВ/протон. Полученные результаты также хорошо согласуются с экспериментальными данными. Полный расчетный выход адронов для $E_n > 20$ МэВ равен $3,93 \pm 0,29$, а экспериментальный — $4,8 \pm 0,7$.

На рисунке 3 представлены расчетные и экспериментальные спектры нейтронов, вылетающих под разными углами из медной мишени. Эксперимен-

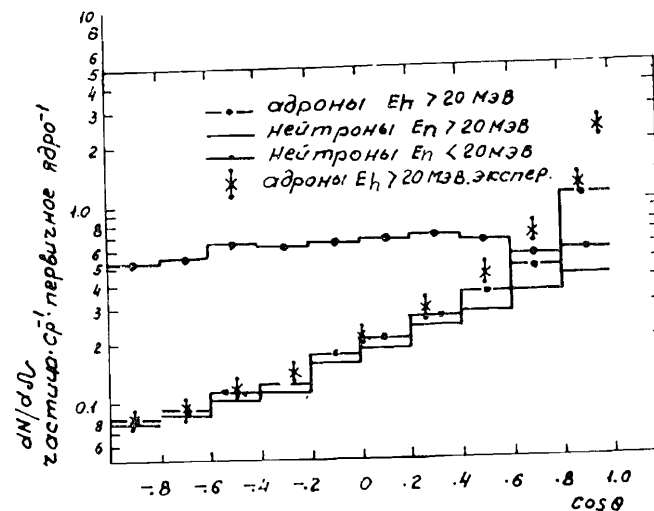


Рис.2. Угловые зависимости выходов адронов, нейтронов с энергией больше 20 МэВ и нейтронов с энергией меньше 20 МэВ, рождающихся при взаимодействиях протонов с медной мишенью при энергии пучка 3,65 ГэВ/протон.

тальный спектр измерен методом времени пролета [8]. Из рисунка видно, что расчетные и экспериментальные данные совпадают, особенно для нейтронов в области энергий меньше 150 МэВ. В области энергий более 150 МэВ экспериментальные результаты отличаются от расчетных вследствие того, что расчеты и эксперимент выполнены для разных средних углов (107° и 104° соответственно). В этой области энергий спектр нейтронов сильнее зависит от угла вылета частиц. Погрешность измерения спектра и статистическая ошибка вычислений в этой области энергий больше, чем для низкоэнергетических нейтронов. На рисунке также приводится спектр нейтронов, вылетающих под углами около 0° . Видно, что спектры вылетающих в разных направлениях нейтронов значительно отличаются друг от друга.

Для низкоэнергетических нейтронов (рис.4) спектры, соответствующие различным углам вылета частиц, практически совпадают.

В таблице I представлены характеристики взаимодействий протонов и ионов C^{12} с энергией 3,65 ГэВ/нуклон с медной мишенью ($R = 5$ см, $L = 13$ см) и железной мишенью ($R = 100$ см, $L = 200$ см). Приведенные данные нормированы на число нуклонов в налетающем ядре. Из таблицы

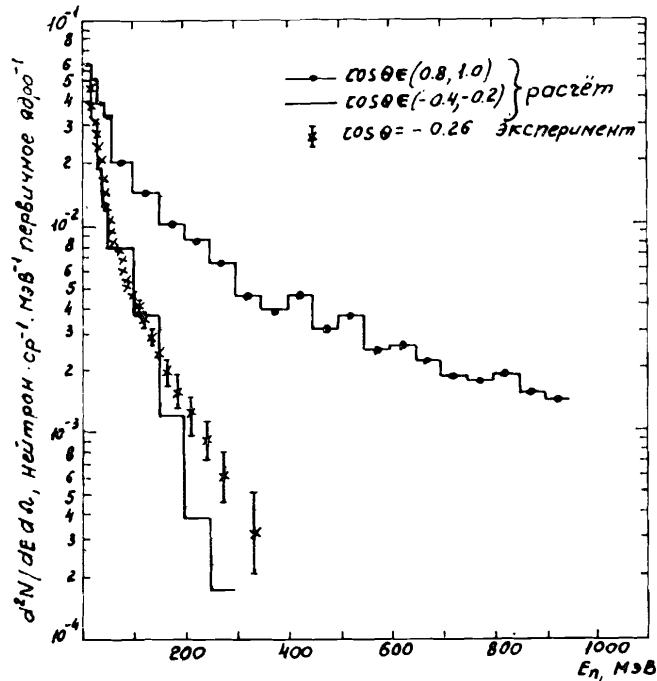


Рис.3. Спектр высокоэнергетических нейтронов, вылетающих под разными углами из медной мишени, облучаемой пучком ионов C^{12} .

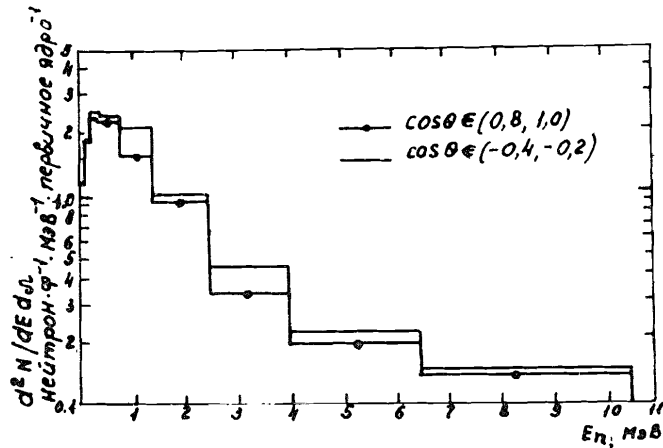


Рис.4. Спектр низкоэнергетических нейтронов, вылетающих под разными углами из медной мишени, облучаемой пучком ионов C^{12} .

Видно, что приведенные характеристики для ионов C^{12} несколько ниже, чем значения соответствующих величин для протонов. Выход нейтронов и адронов с энергией свыше 20 МэВ примерно равен для пучков протонов и ионов C^{12} . Количество вылетающих из толстой железной мишени низкоэнергетических нейтронов ($T < 20$ МэВ) приблизительно в 60 раз больше, чем высокоэнергетических нейтронов. Это означает, что из толстых слоев радиационной защиты вылетают прежде всего низкоэнергетические нейтроны, и эти нейтроны играют важную роль в формировании полей излучений перед толстыми блоками защиты и за ними. Все высокоэнергетические адроны (и нейтроны в том числе) будут поглощаться.

Таблица I.

Сравнение характеристик взаимодействия ионов C^{12} и протонов с медной и железной мишенью в расчете на один нуклон налетающего ядра при $T = 3,65$ ГэВ/нуклон.

Налетающее ядро	Медная мишень		Железная мишень	
	P	^{12}C	P	^{12}C
Число неупругих взаимодействий в мишени	$6,03 \pm 0,3$	$5,2 \pm 0,2$	$80,0 \pm 2,0$	$71,5 \pm 4,5$
Число упругих взаимодействий в мишени	$14,2 \pm 0,7$	$11,8 \pm 0,6$	2811 ± 84	2533 ± 175
Число захватов нейтронов	$0,064 \pm 0,001$	$0,051 \pm 0,001$	$8,7 \pm 0,3$	$7,9 \pm 0,6$
Вылет нейтронов из мишени $T < 20$ МэВ	$7,4 \pm 0,3$	$6,6 \pm 0,3$	$30,5 \pm 1,0$	$27,2 \pm 1,8$
Вылет нейтронов из мишени $T > 20$ МэВ	$2,7 \pm 0,2$	$2,7 \pm 0,2$	$0,5 \pm 0,01$	$0,5 \pm 0,03$
Вылет адронов из мишени $T > 20$ МэВ	$3,9 \pm 0,3$	$3,7 \pm 0,2$	$0,51 \pm 0,01$	$0,5 \pm 0,03$

В таблице 2 представлены средние множественности вторичных частиц, рожденных в неупругих взаимодействиях протонов и ионов C^{12} с ядрами Fe^{56} . Сравнение данных табл. I и 2 показывает, что существует значительное различие в количестве частиц, вылетающих из ядра Fe^{56} и из железной мишени в целом. Так, количество нейтронов, вылетающих из мишени, для случая облучения ионами C^{12} примерно в двенадцать раз больше, чем в случае протонного пучка. В то же время в случае облучения ионами C^{12} и протонами с энергией 3,65 ГэВ/нуклон

приводятся как для всех адронов, так и для адронов, энергия которых превышает 50 МэВ. Результаты нормированы на одну налетающую частицу и на один нуклон. Из рисунка видно, что нормированные плотности неупругих взаимодействий для протонов и ионов C^{12} совпадают. Для толщин свыше 50 см кривые имеют экспоненциальный вид.

Пространственное распределение дозы внутри блока можно вычислить на основе количества неупругих соударений на единицу объема (star-density), вызываемых адронами с энергией выше 50 МэВ. Доза внутри блока практически пропорциональна числу этих соударений. Для железа

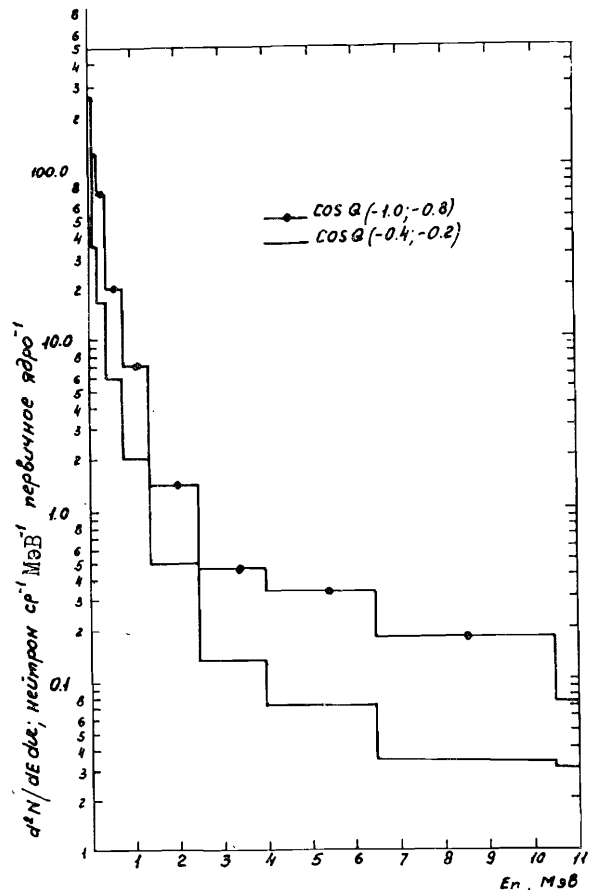


Рис.7. Спектр нейтронов, вылетающих из железной мишени в направлениях $-0,4 < \cos \theta < -0,2$ и $-1,0 < \cos \theta < -0,8$ при облучении мишени ионами C^{12} .

этот фактор равен $2,04 \times 10^{-8} \text{ Sv} \cdot \text{star}^{-1}$ (Ambient Dose Equivalent). Этот фактор меняется в зависимости от энергии налетающих частиц и для налетающих протонов с энергией 100 ГэВ равен $2,15 \times 10^{-8} \text{ Sv} \cdot \text{star}^{-1}$.

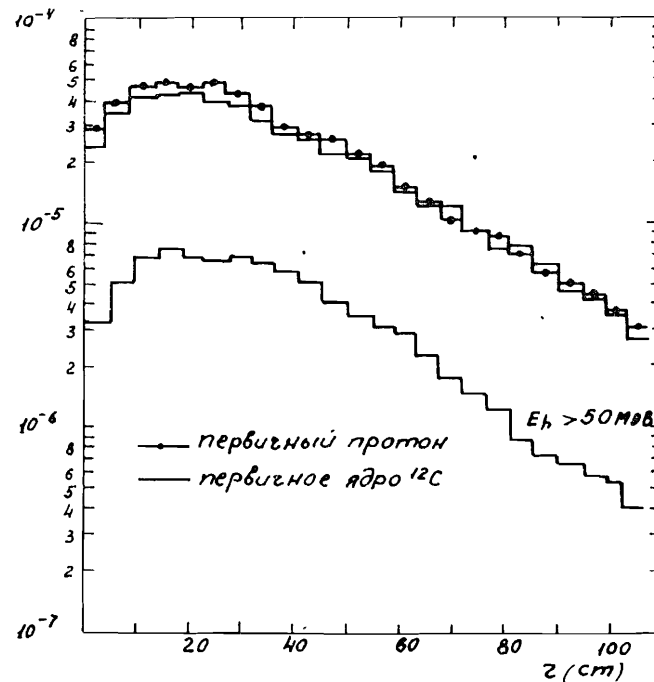


Рис.8. Плотность неупругих взаимодействий адронов в железной мишени.

Согласие расчетных и экспериментальных характеристик позволяет использовать программу "КАСКАД" для расчетов полей вторичного нейтронного излучения вокруг защиты ускорителей тяжелых ионов и протонов.

Авторы благодарят В.С.Барашенкова и С.Ю.Шамова за помощь в работе и обсуждение результатов.

Литература

1. Барашенков В.С. и др. ОИЯИ, P2-85-173, Дубна, 1985.
2. M.V.Emmett et al. CG-the Combinatorial Geometry Module. ORNL - 4972, 1975.

3. Барашенков В.С., Тонеев В.Д. Взаимодействие высокоэнергетических частиц и атомных ядер с ядрами. Атомиздат, М., 1972.
4. Barashenkov V.S. et al. Nucl. Phys., 1980 vol A338, p.413.
5. Barashenkov V.S. et al. Zs. Phys., 1980, vol. A296, p.371.
6. Барашенков В.С. и др. ОИЯИ, P2-83-II7, Дубна, 1983.
7. Бамблевский В.П. ОИЯИ, I6-85-35, Дубна, 1985.
8. Алейников В.Е. и др. ОИЯИ, P16-85-97, Дубна, 1985.
9. Belgorlov E.A., Golowachik V.T., Lebedev V.N., and Potjomkin E.L., Nucl Instrum. Methods 199, 563 (1982)

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

D7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р.55 к.
D2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р.00 к.
D13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р.50 к.
D2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р.30 к.
D1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р.50 к.
D10,11-84-818	Труды V Международного совещания по проблемам математического моделирования, программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1983.	3 р.50 к.
D17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. /2 тома/	7 р.75 к.
D11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р.00 к.
D13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1985.	4 р.80 к.
D4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985.	3 р.75 к.
D3,4,17-86-747	Труды V Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1986.	4 р.50 к.
-	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984. /2 тома/	13 р.50 к.
D1,2-86-668	Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1986. /2 тома/	7 р.35 к.
D9-87-105	Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1986. /2 тома/	13 р.45 к.
D7-87-68	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1986	7 р.10 к.
D2-87-123	Труды Совещания "Ренормгруппа-86". Дубна, 1986	4 р.45 к.

Рукопись поступила в издательский отдел
19 ноября 1987 года.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79. Издательский отдел Объединенного
института ядерных исследований.

ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Полянски А., Соснин А.Н.

P2-87-824

Угловые и энергетические характеристики нейтронов, рожденных под действием пучка высокоэнергетических ионов

Представлены результаты вычислений нейтронных спектров методом Монте-Карло с использованием каскадно-испарительной модели для описания высокоэнергетических неупругих взаимодействий. Толстые медные и железные мишени облучаются протонами и ионами с энергией 3,65 ГэВ/нуклон. Получено хорошее согласие при сравнении расчетных и экспериментальных данных для первичных протонов и ионов, падающих на медную мишень.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Перевод О.С.Виноградовой

Polanski A., Sosnin A.N.

P2-87-824

Angular and Energy Characteristics of Neutrons Produced by High-Energy Ion Beam

The results of Monte-Carlo calculated neutron spectra using intranuclear-cascade-evaporation model for treating high-energy nonelastic collisions are presented. Thick copper and iron targets are irradiated by protons and ^{12}C ions at 3.65 GeV/nucleon energy. For the case of incident protons and ions on cuprum target, comparison is made with experimental data. In general, good agreement is obtained.

The investigation has been performed at the Laboratory of Computing Techniques and Automation, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1987