

4526/82

20/x-82



**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

P16-82-466

**В.Е.Алейников, В.П.Бамблевский, Бе Ен Гван,
Л.Г.Бескровная, Г.Я.Касканов, М.М.Комочков,
А.Д.Никитин, А.Н.Резуник, А.В.Солодилов,
Г.Н.Тимошенко, А.П.Череватенко**

**ПОЛЕ ИЗЛУЧЕНИЯ
ОТ "ТОЛСТОЙ" МЕДНОЙ МИШЕНИ
ПРИ БОМБАРДИРОВКЕ ЕЕ ПРОТОНАМИ
С ЭНЕРГИЕЙ 3,65 ГэВ**

1982

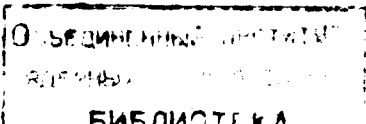
Проектирование и эксплуатация ускорителей релятивистских ядер требует надежного определения радиационной защиты. Основными источниками вторичного излучения ускорителей являются мишени и детали оборудования, с которыми взаимодействуют ускоренные частицы. Одним из методов оценки защиты таких ускорителей является метод^{/1/}, позволяющий определить защиту от излучения, генерируемого ядрами, на основе данных о требуемой защите от излучения, образованного эквивалентным числом протонов. С целью экспериментальной проверки этого метода, других методов расчета поля излучения от "толстой" мишени, а также для получения информации о выходе, угловых распределениях вторичных частиц из "толстой" мишени /моделирующей детали ускорителя/, радиационной обстановке вблизи мишени и за защитой на синхрофазотроне Лаборатории высоких энергий ОИЯИ проводится серия экспериментов на пучках протонов, α -частиц и ядер углерода с энергией 3,65 ГэВ/нуклон. В этой работе приведены данные, полученные при бомбардировке "толстой" медной мишени протонами с энергией 3,65 ГэВ.

1. ГЕОМЕТРИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

На рис.1 приведена геометрия эксперимента. Пучок протонов с энергией 3,65 ГэВ, выведенный из синхрофазотрона, падал в центр основания цилиндрической медной мишени диаметром 10 см и толщиной по направлению пучка 13 см. Распределение пучка по передней поверхности мишени, измеренное термолюминесцентными детекторами TLD-700^{/2/}, показано на рис.2. С помощью активационных детекторов было также установлено, что около 90% первичных протонов падает в центральный круг мишени радиусом 1,5 см. Мониторинг пучка осуществлялся с помощью ионизационной камеры. Калибровка монитора в абсолютных единицах выполнялась с помощью активационных детекторов по реакциям $^{12}\text{C}(p, pn)^{11}\text{C}$, $^{27}\text{Al}(p, spn)^{24}\text{Na}$.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫХОДА ИЗЛУЧЕНИЯ ИЗ МИШЕНИ

Выход излучения /в основном адроны/ из мишени определялся с помощью активационных детекторов с использованием реакции $^{12}\text{C}(a, an)^{11}\text{C}$, его значение для телесного угла 4π получено равным $4,7 \pm 0,5$ адрон/протон. С целью проверки метода расчета был определен выход адронов с энергией более 20 МэВ из мишени методом Монте-Карло по программе^{/3/}. Расчетная величина выхода оказалась равной 5,4 адрон/протон.



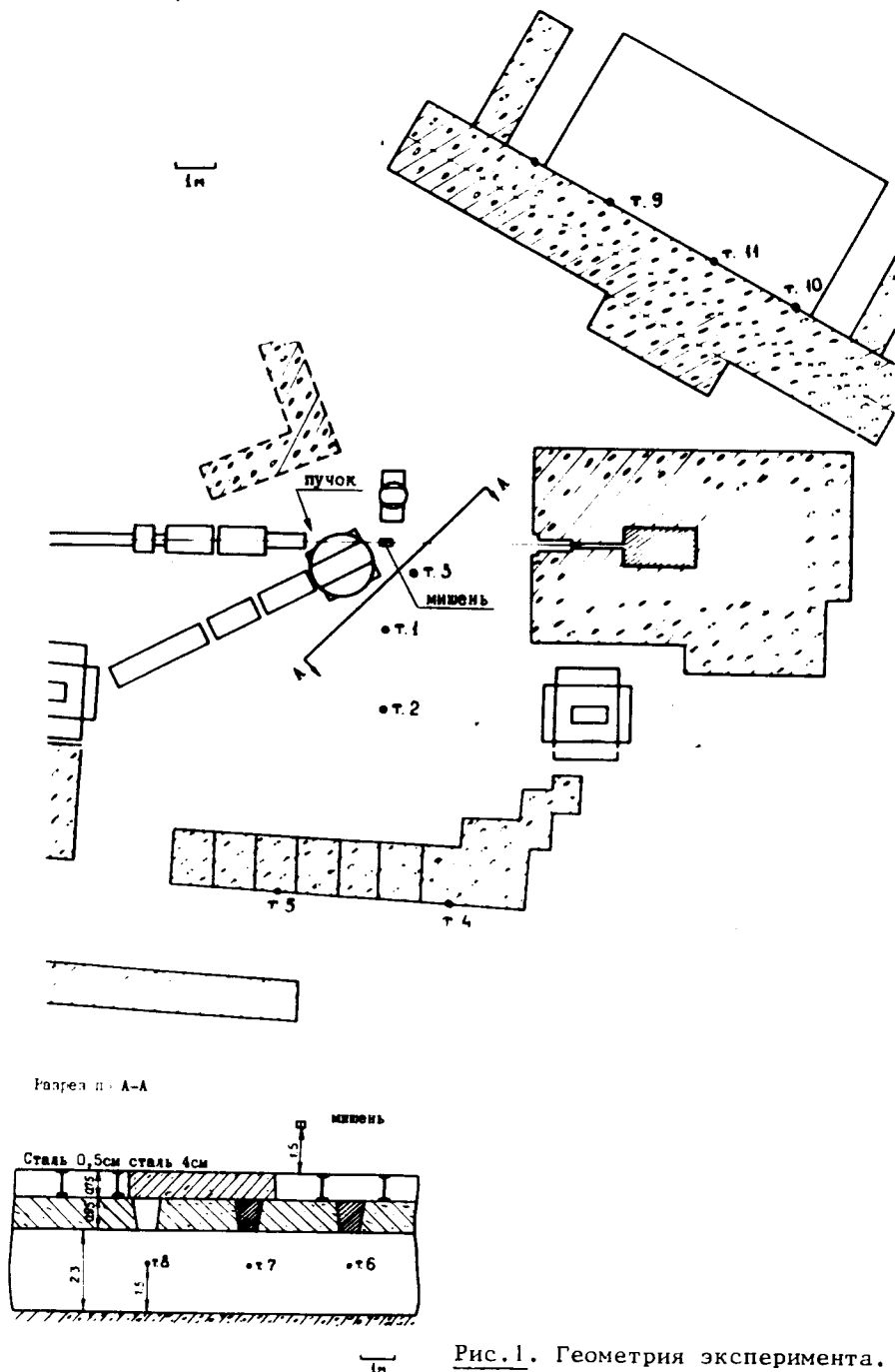
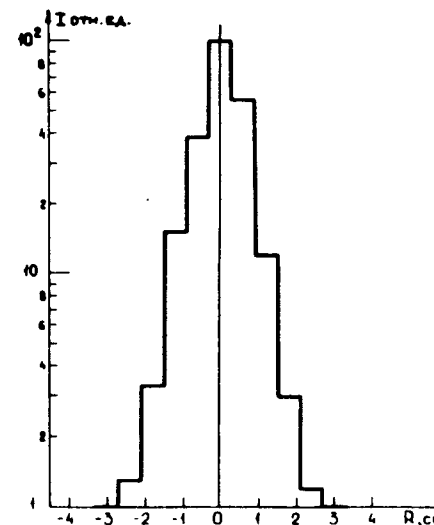


Рис.2. Распределение плотности потока первичных протонов на передней поверхности мишени /относительные единицы/.



3. ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АДРОНОВ

Измерение углового распределения потоков и доз адронов выполнялось с помощью активационных детекторов, термолюминесцентных детекторов TLD-700^{/2/} и сцинтилляционного телескопа. Угловые распределения потоков адронов были также рассчитаны методом Монте-Карло по программе /3/, а также с помощью феноменологической формулы^{/5/} /см. рис.3/.

Активационные детекторы из углерода располагались на расстоянии 60 см от центра мишени под углами /к пучку протонов/ от 15° до 135° с шагом 15°. Для учета вклада в показания детекторов рассеянного излучения под углами 15° и 90° измерения были выполнены на расстояниях 40, 60, 80, 100 и 180 см. Эти измерения показали, что в пределах погрешностей измерений отклонений от R^2 не наблюдается и на расстоянии 60 см размеры мишени и рассеянное излучение мало сказываются на угловом распределении адронов с энергией более 20 МэВ. Угловые распределения потоков адронов, измеренные активационными детекторами, приведены на рис.3. На этом же рисунке приведены угловые распределения адронов с энергией более 20 МэВ, заимствованные из работы /4/.

Измерения углового распределения дозы излучения в эквивалентных рентгенах ^{60}Co выполнялись с помощью термолюминесцентных детекторов TLD-700, которые располагались на расстоянии 60 см от центра мишени под углами к пучку протонов от 3° до 100° с шагом 3° в интервале углов 3°-90°, далее с шагом 6°. Данные, полученные с помощью TLD, также приведены на рис.3.

Для выделения заряженного компонента использовался телескоп сцинтилляционных счетчиков, имеющий следующие энергетические пороги регистрации: 50 МэВ для протонов, 20 МэВ для заряженных π -

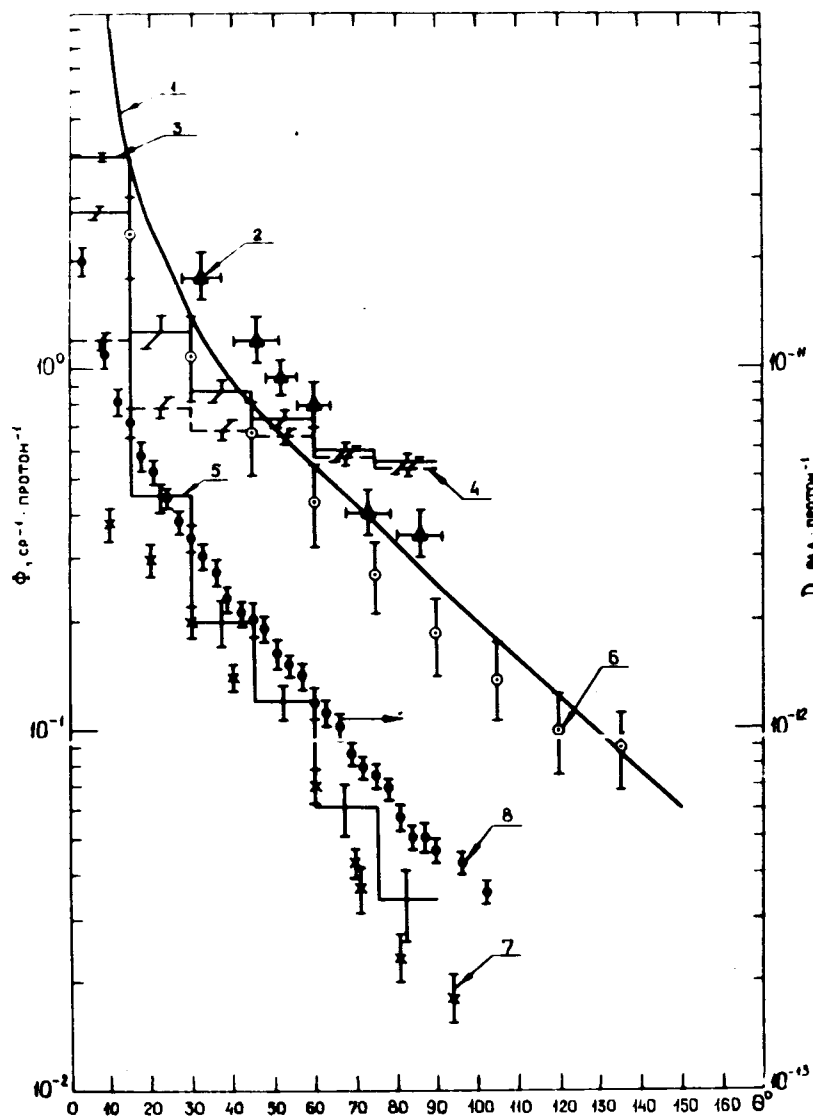


Рис.3. Угловые распределения потоков адронов и дозы излучения: 1 - расчет^{/5/}; 2 - данные работы^{/4/}; 3 - поток адронов, расчет по программе^{/3/}; 4 - поток нейтронов, расчет по программе^{/3/}; 5 - поток заряженных частиц, расчет по программе^{/3/}; 6 - поток адронов по данным активационных детекторов /E>20 МэВ/; 7 - поток заряженных частиц; 8 - поглощенная доза на расстоянии 1 м от мишени.

мезонов, 60 МэВ для дейтронов, 3,5 МэВ для электронов. Результаты измерения углового распределения потоков заряженных частиц приведены на рис.3.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЗЫ СМЕШАННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

При взаимодействии протонов высокой энергии с ядрами вещества мишени образуются частицы широкого спектра масс и энергий. Для измерения доз смешанного излучения применялся рекомбинационный дозиметр REM-2^{/8/}. Измерения выполнялись в точках 1,2,3,4,9 и 10 /см. рис.1/. Точки 1,2,3 расположены вблизи мишени перед защитой, точки 4,9,10 - за бетонной защитой. В табл.1 приведены результаты измерений доз излучения, нормированные на 1 протон, падающий на мишень. В этой же таблице приведены величины эквивалентной дозы, рассчитанные полуэмпирическим методом^{/5/}.

Таблица 1

Поле излучения от медной мишени

№ точ: ки	Эксперимент		Расчет ^{/5/}		
	Поглощенная доза, фемтоград	Кoeffи- циент ка- чества, бэр/рад	Эквивалент- ная доза, фемтобэр	Эквивалент- ная доза, фемтобэр	Поглощенная доза, фемтоград
1	383±28	5,4±0,5	2070±250	1440	360
2	97±7	5,7±0,5	554±64	320	80
3	2830±207	3,3±0,6	9340±1765	16120	4030
4	1,7±0,1	6,5±0,5	11±1	2,2+7,3 ^x	0,54+0,94 ^x
9	0,37±0,01	3,9±0,2	1,44±0,10	1,6	0,4
10	0,090±0,007	5,3±0,7	0,49±0,04	0,28	0,07

* Доза обусловлена рассеянным излучением.

5. ПРОСТРАНСТВЕННОЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ДОЗ НЕЙТРОНОВ ЗА ЗАЩИТОЙ

Для получения информации об энергетических и пространственных распределениях эквивалентных доз нейтронов в точках 4,5,6,7,8, 9,10,11 /см. рис.1/ были измерены энергетические спектры нейтронов с помощью сцинтилляционного детектора ⁶LiJ(Eu) с набором шаровых полиэтиленовых замедлителей /диаметры замедлителей 2,3, 5,10 и 12 дюймов/ и углеродсодержащего активационного детектора^{/7/}. Энергетические распределения эквивалентной дозы нейтронов

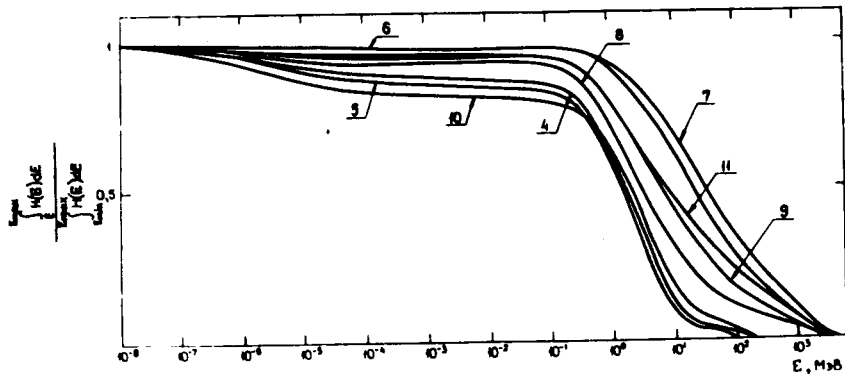


Рис.4. Энергетические распределения эквивалентной дозы нейтронов за защитой /цифрами указаны точки измерения/.

приведены на рис.4. В табл.2 приведены суммарные эквивалентные дозы нейтронов, вычисленные с помощью соотношения

$$H = \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} h(E) \Phi(E) dE,$$

H - эквивалентная доза; $h(E)$ - коэффициент перехода от флюенса нейтронов с энергией E к эквивалентной дозе $^{18}/$; $\Phi(E)$ - энергетическое распределение флюенса нейтронов; E_{\min} и E_{\max} - минимальная и максимальная энергии спектра нейтронов. В этой же таблице приведены флюенсы адронов F с энергией более 20 МэВ. Величины эквивалентных доз и флюенсов нормированы на 1 падающий на мишень первичный протон.

6. ВЫВОДЫ

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Метод Монте-Карло позволяет рассчитывать угловые распределения потоков и выход адронов с точностью, как правило, не хуже $\pm 50\%$.

2. Полуэмпирическая формула $^{15}/$ для угловых распределений адронов с $E > 20$ МэВ правильно описывает угловое распределение адронов для исследованного случая.

3. Полуэмпирический метод $^{15}/$ расчета дозы излучения и флюенсов нейтронов позволяет оценивать эти величины с точностью до коэффициента 2-3.

4. Основной вклад в эквивалентную дозу излучения за защитой дают нейтроны широкого диапазона энергий. Более 50% эквивалентной дозы обусловлено нейтронами с энергией более 1 МэВ.

Таблица 2

Характеристики поля нейтронов за защитой

№ точки	: 4 : 5 : 6 : 7 : 8 : 9 : 10 : 11										
	: II										
H флюенс эксперим.	12,9±3,8	10,5±3,4	9,3±0,9	9,8±0,8	1,2±0,3	1,8±0,4	0,36±0,14	0,34±0,19			
H флюенс расчет $^{15}/$	0,54+7,5*	0,3+7,3*	14	5,9	-	1,6	0,28	0,47			
$10^9 \cdot F$ н.см $^{-2}$ эксперим.	10 ± 2	5 ± 1	72 ± 12	85±15	4 ± 1	9 ± 1	0,6 ± 0,2	-			
$10^9 \cdot F$ н.см $^{-2}$ расчет $^{15}/$	II,2	4,0	53	142	II	7,1	I,3	-			

* Вклад в дозу от рассеянного излучения.

Авторы благодарят В.А.Куликова и В.Г.Жбанкова за помощь при проведении эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балдин А.М. и др. ОИЯИ, 9-11796, Дубна, 1978.
2. Проспект фирмы Harshaw Chemical Company, Cleveland, Ohio 44106, USA.
3. Соболевский Н.М. ОИЯИ, Б1,2-5458, Дубна, 1970.
4. Алейников В.Е. и др. ОИЯИ, Р9-2933, Дубна, 1966.
5. Комочков М.М. ОИЯИ, Р16-81-377, Дубна, 1981.
6. ZielcZynski M., Żagnowieski K. In: Neutron Monitoring, Vienna, IAEA, 1966, p.125.
7. Алейников В.Е., Гердт В.П., Комочков М.М. В кн.: Труды IV Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. "Наука", М., 1975, т.2, с.240.
8. Алейников В.Е., Бескровная Л.Г. ОИЯИ, Р16-82-89, Дубна, 1982.

Рукопись поступила в издательский отдел
18 июня 1982 года.

Алейников В.Е. и др.

Р16-82-466

Поле излучения от "толстой" медной мишени при бомбардировке ее протонами с энергией 3,65 ГэВ

Приведены результаты исследований поля излучения от медной мишени, бомбардируемой протонами с энергией 3,65 ГэВ. Измеренные выход и угловые распределения потоков адронов из мишени сравниваются с рассчитанными величинами. Приведены экспериментальные и расчетные данные о дозах и потоках частиц за бетонной защитой. Полуэмпирические методы расчета характеристик поля излучения за защитой дают величины, описывающие экспериментальные данные с точностью коэффициента 2-3. Метод Монте-Карло позволяет рассчитывать выход излучения из мишени и угловые распределения потоков адронов с точностью не хуже $\pm 50\%$.

Работа выполнена в Отделе радиационной безопасности и радиационных исследований ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Alejnikov V.E. et al.

Р16-82-466

Radiation Field Around "Thick" Copper Target Irradiated by 3.65 GeV Protons

Results are presented on the study of the radiation field around a copper target irradiated by 3.65 GeV protons. Experimental yield and angular distribution are compared to similar calculated distributions. Semiempirical calculated methods of the radiation field characteristics behind shielding have accuracy coefficient of 2-3. The Monte-Carlo method permits to calculate the yield and angular distribution with the accuracy not worse than $\pm 50\%$.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.