

С 349
К-636

М.М. Комочков

1753

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ДОЗИМЕТРИИ
И ЗАЩИТЕ ОТ ИЗЛУЧЕНИЙ
НА СИНХРОЦИКЛОТРОНЕ ОИЯИ

Автореферат диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук

Научный руководитель
доктор физико-математических наук
профессор

В.П. Желепов

Дубна 1984

М.М. Комочков

СЗУД
К-636

1753

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ДОЗИМЕТРИИ
И ЗАЩИТЕ ОТ ИЗЛУЧЕНИЙ
НА СИНХРОЦИКЛОТРОНЕ ОИЯИ

Автореферат диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук

Научный руководитель
доктор физико-математических наук
профессор

В.П. Джелепов

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Дубна 1984

218569

Прогресс ядерной физики и в частности физики элементарных частиц в значительной степени определяется созданием мощных ускорителей частиц. Неотъемлемой частью современных ускорителей является защита от радиации, которая обеспечивает безопасное проведение экспериментов и снижение фона в местах размещения регистрирующей аппаратуры. Хорошо спланированная и эффективная защита дает возможность наиболее полно и гибко использовать ускоритель для физических исследований. С другой стороны, плохо спроектированная защита может быть серьезным источником помех при проведении экспериментов и ограничивать как количественные, так и качественные результаты научных исследований.

Тенденция к созданию ускорителей частиц более высоких энергий и на все большие токи приводит к тому, что в значительной степени увеличиваются как размеры защитных экранов, так и их стоимость. Для выполнения обоснованных расчетов защиты появилась необходимость в надежной и полной информации о проникающих излучениях, возникающих при работе ускорителей. В этой связи был выполнен и опубликован целый ряд работ, посвященных проблеме наведенной радиоактивности, методом расчета и измерения нейтронных потоков от ускорителей, а также экспериментальным данным об ослаблении потоков нейтронов в защите. Значительная часть исследований нашла отражение в трудах I международной конференции по защите ускорителей на большие энергии ^{/1/}.

В представленной диссертации обобщены результаты исследований по дозиметрии и защите от излучений, выполненные автором совместно с Б.С.Сычевым, В.Н.Мехедовым, В.П.Афанасьевым и Чжоу-шу на синхротроне Лаборатории ядерных проблем ОИИИ в период с 1953 по 1963 гг. Данные, представленные в диссертации, послужили основой расчета защиты от излучений протонного релятивистского циклотрона на энергию 700 Мэв ^{/2/}.

В главе 1 описана методика измерения нейтронных потоков и представлены данные о выходе и пространственном распределении нейтронов от различных мишеней.

Глава 2 посвящена исследованиям ослабления потоков нейтронов в защите. Приводятся экспериментальные данные о распределении плотности потоков нейтронов различных энергетических групп в экранах из бетона с различным составом и в защите из стали и чугуна. Даются метод и результаты расчетов прохождения нейтронов высоких энергий в защите.

В главе 3 рассмотрены вопросы активации материалов, оборудования ускорителя и воздуха, а также вопросы защиты от гамма-излучения наведенной радиоактивности.

В заключении приведены основные результаты и краткие выводы работы.

Материал настоящей диссертации основан на работах /3-9/. Основные результаты работы были доложены на Международном симпозиуме по вопросам гигиены труда при работе с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений (Москва, 1961 г.), а также на Международной конференции по ускорителям (Дубна, 1963 г.).

1. Измерения распределения потоков нейтронов в помещениях синхротронного ускорителя от различных мишеней и в защите проводились в основном детекторами, указанными в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

Характеристика детекторов нейтронов

№№ пп	Детектор нейтронов	Энергия нейтронов	Диапазон регистрации плотности потока, нейтрон/сек м ²	Продукты реакции	Регистрирующий прибор
1	2	3	4	5	6
1.	Фольга из индия толщ. $3 \cdot 10^{-2}$ см и диам. 3 см	Резонансная и тепловая	$10^6 - 10^{12}$	Бета-излучение	Установка Б-2 со счетчиком Гейгера
2.	Фольга из индия в чехле из кадмия	Резонансная	$10^6 - 10^{12}$	—	—
3.	Таблетка из смеси органического стекла и сернистого диоксида диаметром 4 см и толщиной 1,2 см	$> 0,5$ Мэв	$2 \cdot 10^3 - 10^7$	Протоны отдачи	Сцинтилляционный счетчик типа РН-3
4. а)	Графитовая пластина с размерами $2 \times 2 \times 0,5$ см ³	$> 20,5$ Мэв	$10^8 - 10^{16}$	Бета-излучение	Установка Б-2 со счетчиком Гейгера
б)	Твердый сцинтиллятор диаметром 6 см и толщиной 2 см	—	$10^6 - 10^{12}$	—	Сцинтилляционный счетчик
в)	Жидкий сцинтиллятор объемом 1 литр	—	$5 \cdot 10^4 - 10^{11}$	—	—

1	2	3	4	5	6
5.	Ионизационная камера, электроды которой покрыты тонким слоем висмута	> 50 Мэв	$10^6 - 10^{10}$	Осколки деления висмута	Установка для регистрации продуктов деления
6.	Толстослойная фотоэмульсия К-200	> 50 Мэв	$20 - 10^9$	Продукты расщепления ядер фотоэмульсии	Микроскоп

На рис. 1 приведены результаты измерений уровней излучения в помещениях синхротронного ускорителя. В левой части рисунка числа, стоящие вблизи точек измерения, означают: числитель - номер точки; знаменатель - поток частиц в относительных единицах, измеренный с помощью камер с висмутом и графитовых пластин. В правой половине рис. 1 приняты следующие обозначения: числитель - номер точки, первое число в знаменателе - поток быстрых нейтронов в сек на см², второе число - мощность дозы гамма-излучения в мкр/сек.

2. Угловые распределения и потоки нейтронов высоких энергий измерялись от бериллиевой и свинцовой мишеней при облучении их протонами с начальными энергиями 660 Мэв. Отношение потока нейтронов, вылетающих из тонкой бериллиевой мишени в телесном угле $1,13$ стер в направлении движения пучка протонов к потоку протонов, составляет величину $0,04 - 0,07$. Ширина на половине высоты углового распределения нейтронов с энергиями более 50 Мэв найдена равной $0,51 \pm 0,02$ рад.

Отношение потока нейтронов, летящих в телесном угле $1,13$ стер из толстой свинцовой мишени, установленной на внешнем пучке протонов, к потоку протонов равно $0,7 - 0,72$.

Расчитанные выходы каскадных нейтронов из бериллиевой и свинцовой мишеней удовлетворительно согласуются с измеренными величинами потоков нейтронов.

На основании результатов измерений угловых распределений нейтронов высоких энергий, полученных на синхротронном ускорителе ОИИИ, а также на других ускорителях протонов /4,10-13/, установлена эмпирическая зависимость дифференциального сечения образования нейтронов с энергиями более 20 Мэв $d\sigma/d\Omega$ от угла вылета нейтронов и энергии падающих на мишень протонов E_p в интервале от 170 до 660 Мэв:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{32 \cdot \nu \cdot A^{3/4} \cdot 10^{-27}}{f(\theta) \cdot d\Omega} \cdot f(\theta), \text{ нейтрон} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{стер}^{-1}$$

Здесь ν - число каскадных нейтронов ($E \geq 20$ Мэв), образующихся при одном неупругом соударении протонов с ядром, атомный вес которого равен A . Функция углового распределения $f(\theta)$ аппроксимируется следующим выражением:

$$f(\theta) = \begin{cases} \cos[1,05 \frac{\theta}{\theta_{1/2}}] & 0 \leq \theta \leq \theta_{1/2} \\ \frac{1}{2} \exp \{-4,2 (\frac{E_p}{660})^{2/3} (\theta - \theta_{1/2})\} & \theta_{1/2} \leq \theta \leq \pi/2 \end{cases}$$

Полуширина углового распределения $\theta_{1/2}$ равна $\varphi (\frac{660}{E_p})^{2/3}$, где E_p - энергия протонов в Мэв, а коэффициент φ равен 0,27 для ядер бериллия и 0,3 - для $A \geq 27$.

В измерениях углового распределения потока нейтронов, рассеянных стенками коллиматора, установлено, что плотность потока нейтронов с энергиями более 20 Мэв пропорциональна котангенсу угла между направлением рассеянного нейтрона и осью коллимированного пучка.

II.

1. Экспериментальные исследования ослабления нейтронных потоков в защите проводились в условиях, близких к условиям, при которых плоский мононаправленный источник расположен на границе полубесконечной среды. Материалом защиты являлся бетон с различной плотностью и сталь. Поток нейтронов генерировался в бериллиевой мишени протонами с энергиями от 170 до 660 Мэв. Результаты измерений позволили принять экспоненциальный характер ослабления потока нейтронов на значительном участке толщины защиты. В таблице 2 даны длины ослабления потоков нейтронов с энергиями более 20 Мэв на участке толщины защиты от λ до $(3-6)\lambda$. При равномерной плотности защиты длина ослабления потока нейтронов приблизительно пропорциональна длине для неупругого взаимодействия нейтронов с ядрами.

Т а б л и ц а 2

Длина ослабления (λ см) для различных спектров нейтронов

Материал защиты	Плотность ρ кг/м ³	Энергия протонов, Мэв				
		170	250	350	480	660
Бетон	2350 ± 50	42 ± 3	49 ± 3	55 ± 3	62 ± 4	61 ± 1,5
	3200 ± 100	35 ± 3	-	49 ± 3	52 ± 3	52 ± 3
	4100 ± 150	27 ± 3	32 ± 2	43 ± 3	48 ± 3	46 ± 3
Сталь+чугун	7500 ± 300	-	-	-	-	23 ± 0,9

2. Расчеты прохождения нейтронов в защите выполнены без учета угловых отклонений в процессах взаимодействия нейтронов с ядрами. Для моноэнергетического потока нейтронов, падающих на защиту, плотность потока и энергетический спектр ней-

тронов с энергиями более 80 Мэв описываются функциями Бесселя мнимого аргумента нулевого и первого порядка соответственно. Отношение потока нейтронов с энергиями от 0 до 80 Мэв к потоку нейтронов с энергиями более 80 Мэв плавно увеличивается от нуля до 0,3 при изменении толщины защиты от нуля до двух длин для неупругого взаимодействия нейтронов с ядрами λ_n , оставаясь затем постоянным с возрастанием толщины защиты. Результаты экспериментов и расчетов показывают, что при толщине защиты, превышающей $2\lambda_n$, поток нейтронов с энергией более 20 Мэв может быть описан следующим выражением:

$$\Phi(x) = 1,3 e^{-\frac{x}{\lambda_n}} \cdot I_0 \left(2\sqrt{\frac{x}{\lambda_n}} \cdot 1,3 \cdot 10^{-3} (E_0 - 80) \right).$$

Здесь x - толщина защиты, I_0 - функция Бесселя мнимого аргумента нулевого порядка, E_0 - энергия нейтронов в моноэнергетическом пучке, падающем на защиту.

Наблюдается хорошее согласие между данными расчетов и экспериментов для зависимости плотности потока нейтронов как от толщины защиты, так и от начальной энергии нейтронов. На рис. 2 для примера представлены зависимости потоков нейтронов от толщины защиты из стали и чугуна, на которую падают нейтроны, образующиеся при бомбардировке бериллиевой мишени протонами с энергией 660 Мэв. Пунктирная и сплошная кривые представляют зависимости потока нейтронов с энергиями более 80 Мэв и более 20 Мэв, соответственно, от толщины защиты.

III.

Исследовалась наведенная гамма-радиоактивность, возникающая в различных материалах при облучении их протонами с энергией 660 Мэв. На рис. 3 представлена удельная радиоактивность исследованных веществ в разные моменты времени от конца длительного облучения. Нижние кривые представляют собой спад радиоактивности от времени без учета долгоживущих компонент, верхние кривые - с учетом долгоживущей активности. Для сравнения крестиками обозначена кривая спада мощности дозы гамма-излучения, полученная вблизи синхротрона, проработавшего в течение 6-ти лет.

Установлено, что уровни гамма-излучения наведенной в ускорителе радиоактивности становятся сравнимыми с предельно-допустимой дозой, когда плотности потоков нейтронов или протонов достигают величин $10^3 - 10^9$ нейтрон/м²сек, а полный поток нейтронов от ускорителя 10^{10} нейтрон/сек. Путем расчета получены кривые ослабления дозы гамма-излучения наведенной радиоактивности в защите из железа, свинцового стекла и свинца (см.рис. 4). Спектр гамма-квантов заимствован из работы [14]. Данные расчета согласуются с результатами измерений уровня гамма-излучения наведенной в дуанте синхротрона радиоактивности за экранами из свинцового стекла различной толщины.

При измерении активации воздуха нейтронами и протонами от синхротрона установлено, что ответственными за радиоактивность воздуха являются изотопы O^{15} , N^{13} , C^{11} и Ar^{41} . Распределение активности воздуха по помещению, через которое проходит пучок частиц, определяется скоростью распада радиоактивных изотопов и диффузией газа.

Л и т е р а т у р а

1. First Intern. Conf. on Shielding around High-Energies Accelerators, Orsay-Saclay, Jan. 18-20 (1962).
2. В.П. Джелепов и др. Релятивистский протонный циклотрон на энергию 700 Мэв. Труды международной конференции по ускорителям заряженных частиц, г.Дубна, август 1963 г.
3. М.М.Комочков, В.Н.Мехедов. Атомная энергия, 4, вып. 5, 471 (1958).
4. М.М.Комочков, В.Н.Мехедов. Атомная энергия, 8, вып. 2, 152 (1960).
5. М.М.Комочков. Атомная энергия, 11, вып. 4, 399 (1961).
6. Л.Н.Зайцев, М.М.Комочков, Б.С.Сычев. Атомная энергия, 12, вып. 6, 525 (1962).
7. М.М.Комочков, Б.С.Сычев. Атомная энергия, 15, вып.4, 325 (1963).
8. М.М.Комочков. Атомная энергия, 15, 126 (1963).
9. М.М.Комочков. Препринт ОИЯИ Р-1349 (1963).
10. M.Snowden, Phil. Mag. 43, 285 (1952).
11. J.De Yuren, Phys. Rev. 81, 458 (1951).
12. R.D.Muller et al., Phys. Rev. 81, 374 (1951).
13. В.П.Джелепов, Б.М.Понтекорво. Атомная энергия, 6; вып. 8, 657 (1959).
14. K.Goebel and E.J.Michaelis, CERN, MSC Intern. Report, 62-2 (1962).

Рукопись поступила в издательский отдел
27 июня 1964 г.

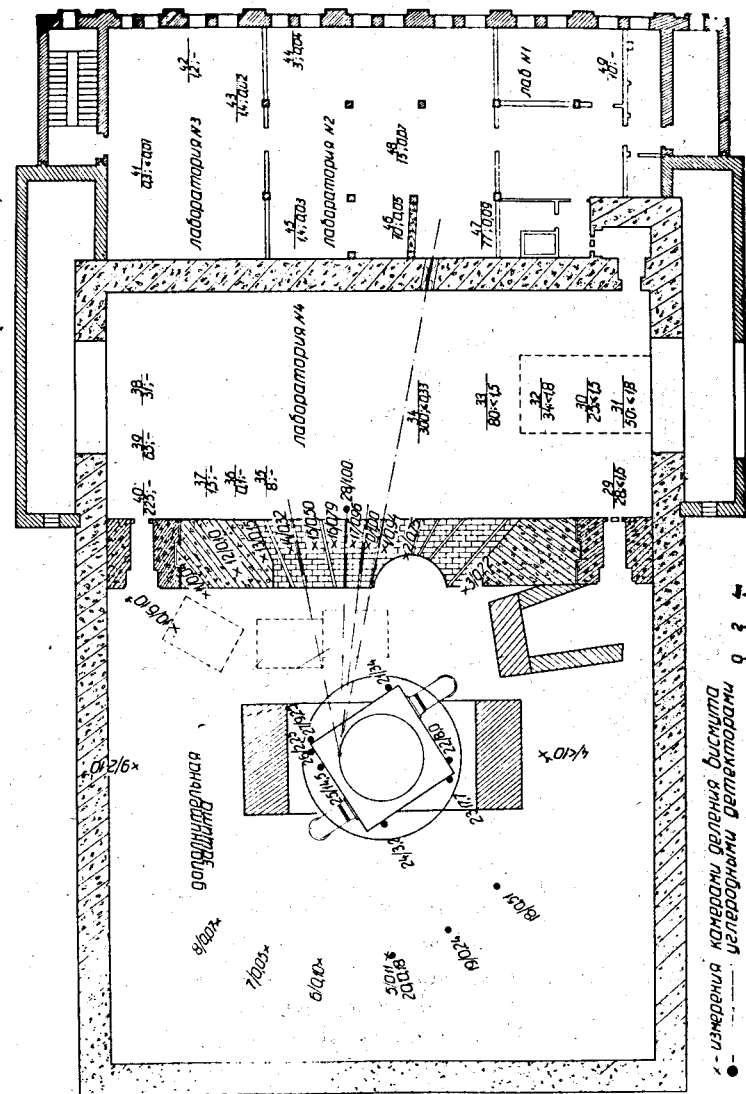


Рис. 1. Распределения ионизации вокруг шестиметрового синхротрона.

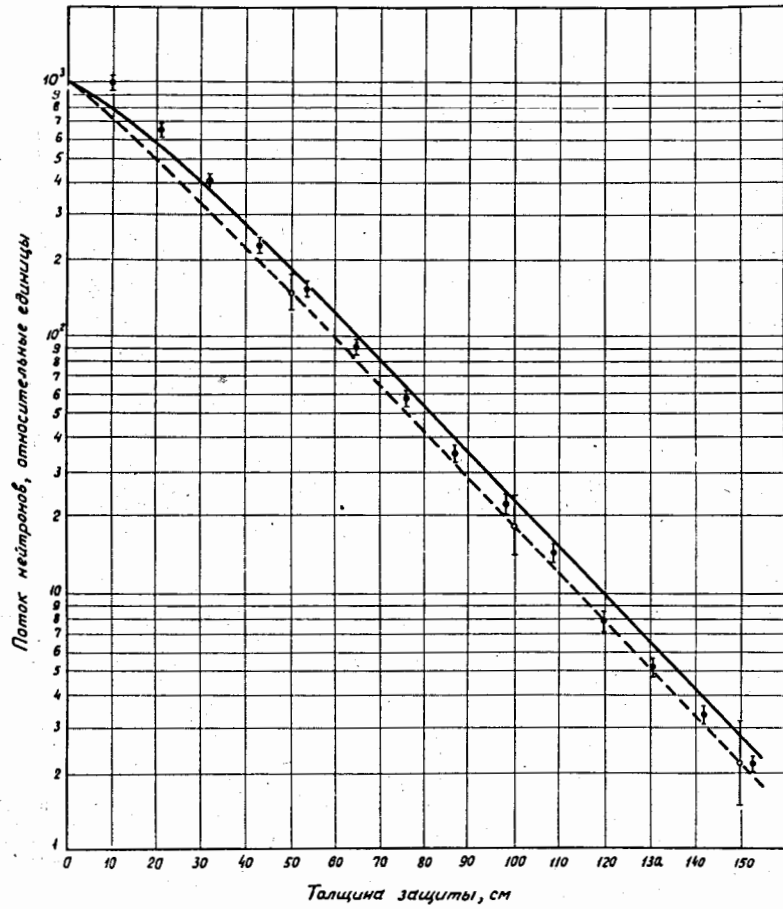


Рис. 2 Ослабление потока нейтронов в защите из стали и чугуна.
 I — экспериментальные точки

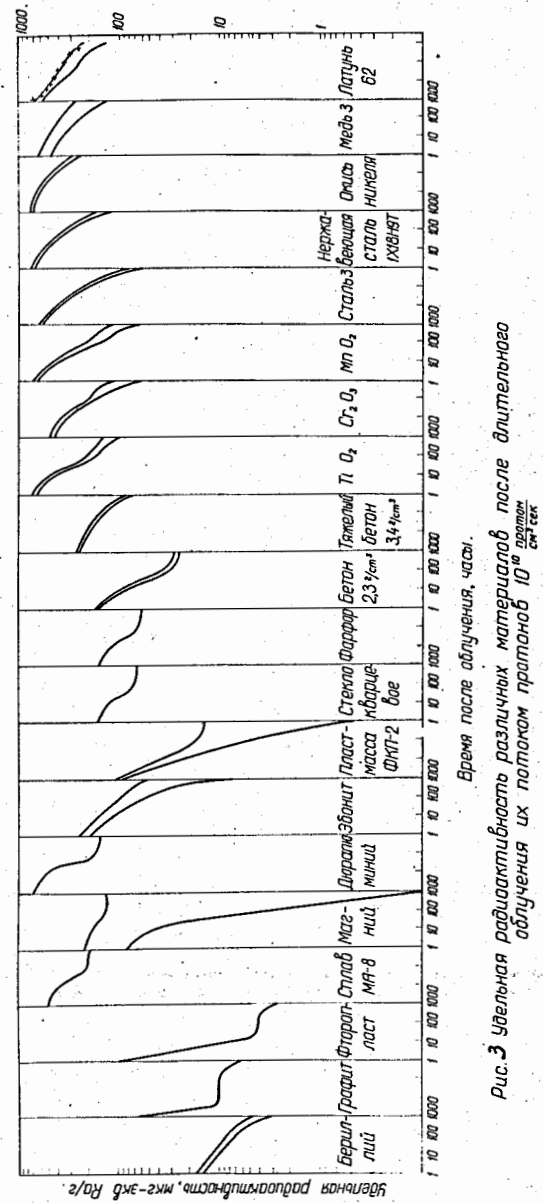


Рис. 3 Увеличенная радиоактивность различных материалов после длительного облучения их потоком протонов 10¹⁶ протон/см² сек.
 Время после облучения, часы.

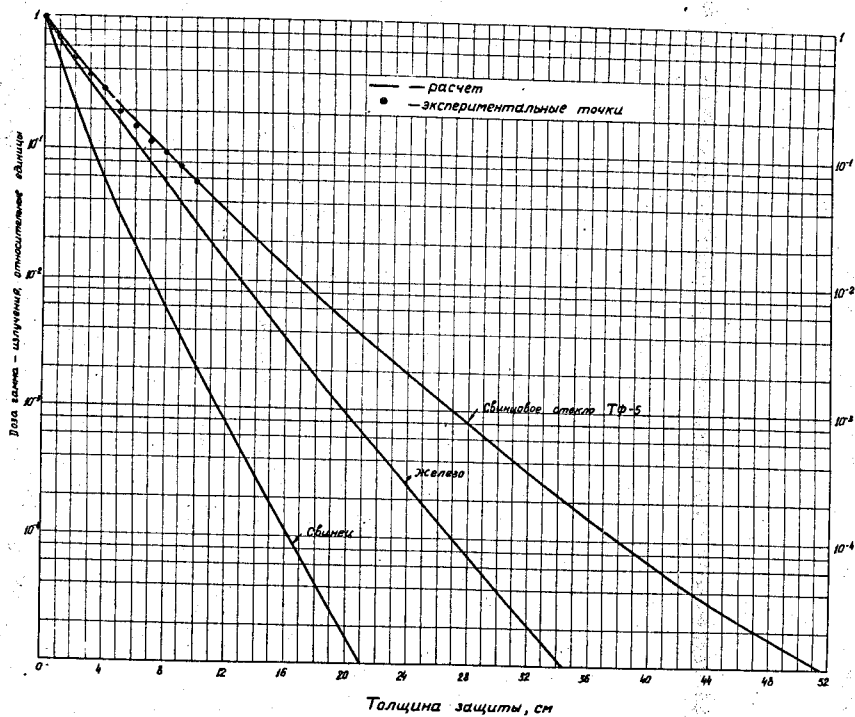


Рис. 4. Ослабление дозы гамма - излучения, наведенной радиоактивностью в защите из свинцового стекла ТФ-5, железа и свинца.