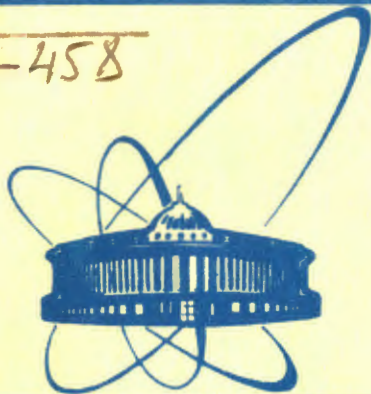


A-458



СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

2436 / 2-81

18/5-81

P16-81-104

В.Е.Алейников, М.М.Комочков

ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ПОЛЕЙ ИЗЛУЧЕНИЯ
ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ОИЯИ
И АДЕКВАТНОСТЬ ПОКАЗАНИЙ
ДЕТЕКТОРОВ ДОЗЕ РАДИАЦИИ

1981

1. ВВЕДЕНИЕ

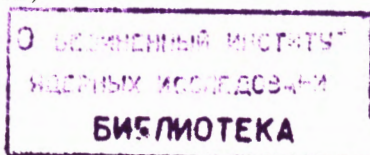
Работа¹ положила начало систематическому изучению адекватности показаний детекторов дозе излучений в полях радиации ядерно-физических установок ОИЯИ, основные характеристики которых приведены в работе². Ограниченный набор точек измерения и отсутствие надежных данных о компонентном и энергетическом составе излучений затрудняли однозначную интерпретацию результатов¹ и возможность подведения каких-либо итогов. В этой связи в период с 1975 г. по 1979 г. был выполнен ряд работ²⁻²⁸, направленных на изучение дозиметрических характеристик поля излучения, энергетических распределений нуклонов и адекватности показаний детекторов дозе радиации в полях излучения ядерно-физических установок ОИЯИ. Настоящая работа суммирует результаты исследований²⁻²⁸ и подводит их краткие итоги.

2. УСЛОВИЯ, ОБЪЕМ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При исследовании характеристик полей излучения основное внимание было уделено измерению доз, энергетических и угловых распределений флюенсов нуклонов - компонента поля излучения, определяющего радиационную обстановку за защитой ускорителей тяжелых частиц и импульсных быстрых реакторов. Эти измерения были выполнены с целью получения данных, необходимых для определения адекватности показаний приборов дозам в полях излучений ускорителей тяжелых заряженных частиц и импульсных быстрых реакторов, установления закономерностей в формировании полей нуклонов за защитой ускорителей протонов на высокие энергии и проверки способов расчета защиты от излучений таких ускорителей.

Измерения дозиметрических характеристик полей излучения и спектров нуклонов выполнялись на пучках импульсных быстрых реакторов /ИБР-30³⁻⁵, ИБР-2⁶/ и синхроциклотрона⁸, а также в рассеянных полях ИБР-30⁹, синхроциклотрона¹⁰⁻¹² и циклотронов У-200¹⁵ и У-300¹⁵. При выборе мест измерений мы стремились получить результаты:

- в наиболее типичных полях излучения,
- в условиях с максимальной априорной информацией о параметрах поля излучения,



- в условиях максимально "жесткого" и "мягкого" спектров нейтронов.

В смешанном поле излучения выделялись реакции детекторов, обусловленные нейтронами, гамма-излучением и заряженными частицами, а также протонами высоких энергий за защитой и в пучке синхроциклотрона. Реакции детекторов интерпретировались как керма, поглощенная и эквивалентная дозы гамма-излучения нейтронов; измерения выполнялись как с фантомами, так и в свободном воздухе.

На основе реакции детекторов восстанавливались спектры нейтронов и протонов. Спектрометром протонов служил телескоп сцинтилляционных счетчиков, последним /по направлению движения протонов/ счетчиком которого был детектор, измеряющий передачу энергии частицы ΔE в сцинтилляторе^{/14/}. При восстановлении спектров нейтронов и протонов применялся^{/15-17/} метод статистической регуляризации^{/29/}. Программа восстановления спектров и расчет поглощенной и эквивалентной доз нейтронов на основе коэффициентов перехода от флюенса к дозе составлены для ЭВМ CDC-6500 и могут быть использованы также на БЭСМ-6. В качестве спектрометра нейтронов использовались детекторы медленных и тепловых нейтронов в различных шаровых полиэтиленовых замедлителях^{/15-17/}, а также активационные^{/5,15-17/} и трековые^{/30-32/} детекторы.

Средства измерения, реакции которых интерпретировались как доза или керма, представлены в табл.1.

Достоверность измерения дозиметрических величин поля излучения устанавливалась путем сличения результатов измерения этих величин проверяемыми средствами с наиболее достоверными данными. В качестве таковых принимались средние величины, полученные с помощью ионизационного метода и энергетических спектров нейтронов; адекватность показаний этих средств эквивалентной и поглощенной дозам устанавливалась путем сличения между собой одних и тех же дозиметрических величин.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Характеристики полей излучения

3.1.1. Спектры нейтронов

На рис.1 приведены энергетические спектры нейтронов в пучках реакторов ИБР-30, ИБР-2 и синхроциклотрона на энергию 660 МэВ. Энергетические распределения эквивалентной дозы в полях ядерно-физических установок ОИЯИ приведены на рис.2. Распределения доз вычислены по измеренным энергетическим спектрам нейтронов.

Таблица 1
Методы и средства измерения дозиметрических характеристик поля излучения ядерно-физических установок ОИЯИ

Метод регистрации	Наименование прибора, детектора	Устанавливаемая величина
Ионизационный	Рекомбинационный дозиметр ^{/38,34/}	Поглощенная D и эквивалентная H дозы излучения
Активационный	Графитовая камера, наполненная CO ₂ до 21 атм. Au, In, Du резонансные и пороговые детекторы, In в замедлителях ^{/5,15-17/}	Поглощенная доза D _{γ,з} и заряженных частиц Флюенс Φ _n ; керма K; поглощенная D _n и эквивалентная H _n дозы нейтронов
Фотоэмульсионный	ИФК ^{/20,36/} эмульсия K, 20 мкм /треки, звезды/ ИФК-2, 3: рентгеновская пленка ORWO RD3-4	Эквивалентная доза адронов H _a , H _n , D _{γ,з}
Термолюминесцентный	ТЛД-600, ⁶⁰ CaF ₂ альбедо-дозиметр ТЛД-700, ИКС-A ^{/37/} , CaF ₂ · CaSO ₄	Флюенс тепловых нейтронов, D _{γ,з}
Трековый	Детекторы следов повреждений ^{/30-32/}	Φ _n , D _n , H _n , K

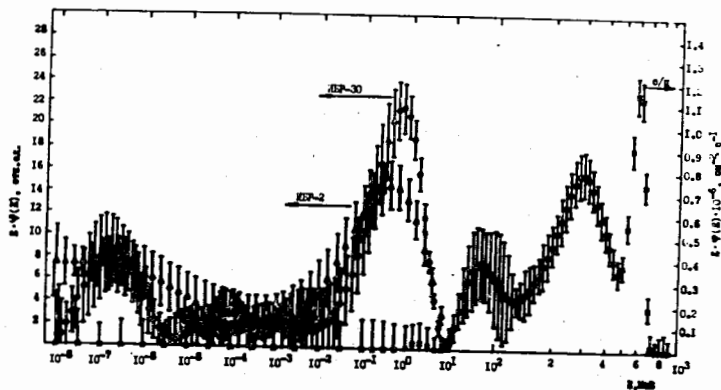


Рис.1. Спектры нейтронов $E \cdot \phi(E)$ в пучках ядерно-физических установок. \times - синхроциклотрон *, \bullet - ИБР-30 ²⁶/, Δ - ИБР-2 ⁸/ / * - измерен совместно с В.П. Бамблевским и В.В.Гречко/.

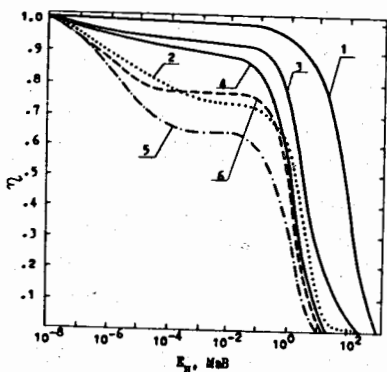


Рис.2. Относительный вклад η нейтронов с энергией больше E_n в суммарную эквивалентную дозу ²⁶/, 1 - за сплошной защитой синхроциклотрона; 2 - за защитой синхроциклотрона с проемами; 3 - район линейного промежутка синхрофазотрона; 4 - в зале и физкабинетах циклотрона У-300 /режим выведенного пучка ионов/; 5 - за защитой циклотрона У-200 /лабиринт/; 6 - в поле рассеянного излучения за защитой реактора ИБР-30.

Анализ результатов измерений и расчетов энергетических распределений потоков нейтронов за защитой ускорителей протонов показал, что форма энергетических спектров нейтронов $\Phi(E)$, в основном, зависит от композиции защиты и геометрии "источник-защита". Функция $E \cdot \Phi(E)$ за сплошной защитой имеет максимум в области нейтронов высокой энергии. У наиболее "жестких" спектров максимум расположен вблизи 100 МэВ. Положение этого максимума слабо зависит от энергии ускоренных протонов в исследованном диапазоне энергий этих частиц и в основном определяется геометрией "источник-защита". Проемы в защите приводят к значительному увеличению в спектре нейтронов низких энергий за счет рассеянного излучения, выходящего через эти проемы.

Для неизменной геометрии "источник-защита" при увеличении энергии ускоренных протонов от 360 до 660 МэВ наблюдается возрастание "жесткости" h энергетических распределений потоков /доз/ нейтронов за защитой синхроциклотрона. В данном случае "жесткостью" h мы называем отношение флюенса /дозы/ нейтронов с энергией $E > 20$ МэВ к флюенсу /дозе/ нейтронов с энергией $E < 20$ МэВ. Указанное выше возрастание h обусловлено, по-видимому, тем, что

$$h \sim \frac{\bar{n}_c}{\bar{n}_e}, \quad \frac{d\bar{n}_c}{dE} > \frac{d\bar{n}_e}{dE},$$

где \bar{n}_c и \bar{n}_e - средние множественности соответственно каскадных и испарительных нейтронов, образованных при взаимодействии нуклонов с ядрами вещества защиты ³⁸/.

3.1.2. Спектрально-угловые распределения флюенсов протонов

Первые измерения ²⁷/ спектра протонов, выходящих из защиты синхроциклотрона, были сделаны за защитой, разделяющей зал ускорителя и экспериментальный зал. На защиту падало излучение, образованное в камере ускорителя. В 1978-79 гг. были выполнены исследования спектрально-угловых характеристик протонного компонента поля излучения за двухметровой бетонной защитой синхроциклотрона на энергию 660 МэВ в двух типичных для ускорителей геометрий "источник-защита". Геометрия измерений показана на рис.3. В геометрии 1 коллимированный пучок протонов с энергией 630 МэВ падал на защиту под углом 30°, в геометрии 2 пучок протонов полностью тормозился в медной мишени диаметром 12 см и толщиной 30 см, установленной на расстоянии 4,8 м от защиты по направлению пучка. Информация о полученном наборе экспериментальных данных приведена в табл.2.

На рис.4 приведены наиболее "жесткий" и один из наиболее мягких спектров протонов, измеренных ¹²/ в первой геометрии. По оси ординат отложена дифференциальная по углу и энергии. E зависимость потока протонов $F(\vec{r}, \vec{\Omega}, E)$ с единичной площади на поверхности защиты в точке \vec{r} , умноженная на $\cos \omega$ и нормированная на первичный протон. Здесь ω - угол между осью телескопа датчиков спектрометра и нормалью к защите в точке \vec{r} ; $\vec{\Omega}$ - направление движения регистрируемых спектрометром протонов. Угловые распределения $\Phi(\theta, \phi)$ потоков протонов в точке 2 с единичной площади поверхности защиты приведены на рис.5 ²⁸/.

Для установления закономерностей формирования спектрально-угловых распределений потоков протонов за защитой ускорителей необходимо дальнейшее накопление экспериментальных данных в

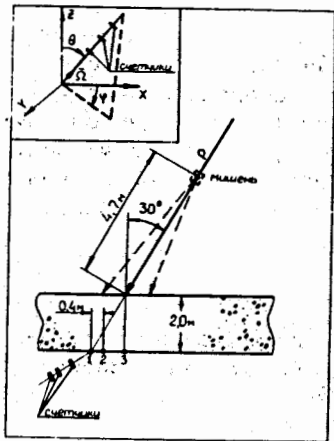


Рис.3. Геометрия измерений.

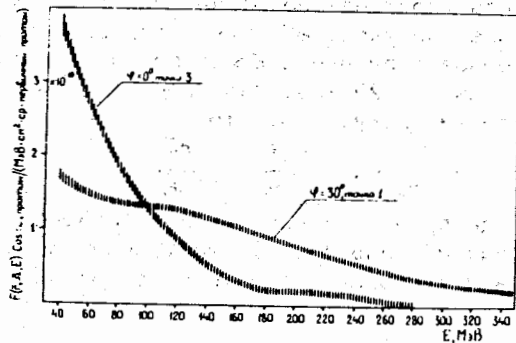


Рис.4. Спектры протонов в точках 1 и 3, измеренные в первой геометрии.^{12/}

Рис.5. Угловые распределения протонов $\Phi(\theta, \phi)$ ^{28/}. — первая геометрия, - - - вторая геометрия.

разных геометриях "источник-защита", в частности, при более высоких энергиях ускоренных протонов. Однако полученные экспериментальные данные могут служить основой для проверки методов расчета дифференциальных характеристик полей излучения за защитой ускорителей протонов и интерпретации показаний дозиметров в таких полях.

3.2. Адекватность показаний детекторов дозе излучений

Исследования адекватности показаний детекторов дозе излучений проводились в пучках и за защитой ядерно-физических установок.

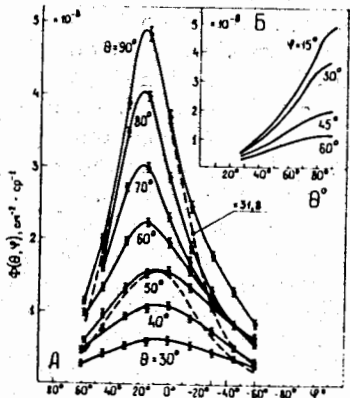


Таблица 2

Спектрально-угловые характеристики протонного компонента поля излучения за защитой синхроциклотрона ЛЯП, исследованные в течение 1978-79 гг.

Геометрия 1	Точка	а/ Угловые распределения потоков протонов в горизонтальной плоскости; б/ Спектр протонов при $\phi = 30^\circ$
	1	а/ Угловые распределения потоков протонов в горизонтальной плоскости; б/ Спектр протонов при $\phi = 30^\circ$
	2	а/ Угловые распределения потоков протонов; б/ Спектры протонов при $\phi = 17^\circ$; 0° ; -30° ; -50° ; в/ Флюенсы нуклонов и протонов
	3	а/ Угловые распределения потоков протонов в горизонтальной плоскости; б/ Спектр протонов при $\phi = 0^\circ$
Геометрия 2	Точка	а/ Угловые распределения потоков протонов; б/ Спектры протонов при $\phi = 0^\circ$; -30° ; в/ Флюенсы нуклонов и протонов
	2	а/ Угловые распределения потоков протонов; б/ Спектры протонов при $\phi = 0^\circ$; -30° ; в/ Флюенсы нуклонов и протонов
	3	а/ Угловые распределения потоков протонов в горизонтальной плоскости.

а/, б/, в/ - измерения, проведенные в различных геометриях и точках.

3.2.1. Исследования в пучках

Измерения реакции детекторов в пучках частиц преследовали две цели: уточнение функций чувствительностей детекторов к частицам с определенной энергией и сравнение показаний разных методов и приборов дозиметрии в поле излучения с известными дозиметрическими характеристиками.

Определение чувствительности дозиметра ИФК_н было выполнено^{21/} в опытах с тепловыми нейтронами и нейтронами с энергией ~30 кэВ. Выполненные в работе^{21/} расчеты и эксперименты позво-

лили уточнить значения чувствительности детекторов ИФК_н как индивидуальных альbedo-дозиметров в диапазоне энергий нейтронов от 0,025 эВ до 0,4 МэВ. Полученные величины чувствительности оказались приблизительно в 2 раза ниже ранее принятых в интервале энергий 0,025 эВ - 10 кэВ.

В пучке нейтронов с энергией ~30 кэВ выполнено²⁸ измерение чувствительности дозиметра ДН-А-1³⁹ и сцинтилляционного детектора ⁶LiI(Eu) в шаровых полиэтиленовых замедлителях с диаметрами 5,1; 7,6; 8,9; 12,7; 17,8; 20,3; 25,4; 30,5 см. Полученное значение дозовой чувствительности ДН-А-1 согласуется со значением чувствительности этого прибора к нейтронам плутоний-бериллиевого источника.

Сравнение различных методов и средств определения поглощенной дозы выполнено⁷⁷ в пучках протонов с энергиями в диапазоне от 82 до 660 МэВ. Сравнивались данные, полученные термолюминесцентным, активационным и ионизационным методами. Результаты измерений показали, что разброс значений поглощенных доз не превышает 9-11% для энергий протонов от 82 до 120 МэВ и 18-24% при энергиях протонов более 150 МэВ.

Сравнение результатов измерения доз нейтронов и гамма-излучения используемыми в ОИЯИ и странах-участницах методами и приборами было выполнено^{4,3} в пучке импульсного быстрого реактора ИБР-30. Из полученных данных следует, что разброс значений доз нейтронов и гамма-излучения превышает 30%, т.е. величину, которую МКРЕ рекомендует⁴⁰ для оценки достаточной точности при измерениях доз, сопоставимых с предельно допустимыми величинами. В частности, широко используемый дозиметр ИФК_н при градуировке с помощью Pu-Be источника в 1,7 раза занижает эквивалентную дозу в полях, аналогичных полю нейтронов в пучке ИБР-30, а рекомбинационный дозиметр REM-2^{33,34} в 1,76 раза завышает эквивалентную дозу в таких полях. Завышенные доз нейтронов при измерениях дозиметром REM-2, вероятно, связано с повышенным /относительно тканезквивалентного состава/ содержанием водорода в газе, наполняющем камеру REM-2⁴. Анализ причин занижения эквивалентной дозы нейтронов дозиметром ИФК_н с использованием информации о спектре нейтронов в пучке ИБР-30 и функции чувствительности дозиметра показал⁴¹, что только 65% полной дозы нейтронов будет зарегистрировано, если использовать градуировку с помощью Pu-Be источника. Для достижения лучшей точности определения доз нейтронов в поле реактора с помощью дозиметров ИФК_н градуировку рекомендовано проводить на источниках, спектр нейтронов которых более близок к спектру реактора.

3.2.2. Исследования в рассеянных полях излучения за защитой установок

Экспериментальные исследования¹⁷ адекватности показаний приборов за защитой ускорителей протонов на высокие энергии ОИЯИ показали, что измерения эквивалентной дозы приборами, широко используемыми в практике дозиметрического контроля в полях излучений ускорителей, выполняются с погрешностями, пока еще превышающими величины, рекомендованные МКРЕ⁴⁰ для доз, сопоставимых с предельно допустимыми. В частности, эквивалентная доза быстрых нейтронов, определенная по показаниям дозиметров с детекторами, регистрирующими нейтроны по протонам отдачи, оказалась значительно завышена по сравнению с наиболее вероятной дозой.

Исследования адекватности показаний ИФК_н эквивалентной дозе были также выполнены в полях рассеянного излучения ИБР-30⁹ и вблизи ускорителей тяжелых ионов¹³. Эти исследования показали, что и в полях излучения за защитой ИБР-30, и вблизи ускорителей тяжелых ионов наблюдается занижение индивидуальных доз облучения в среднем в 1,7 раза и в 2,5 раза, соответственно. Причинами такого занижения являются^{9,13} отличие функции чувствительности дозиметра ИФК_н от идеальной, градуировка его в относительно "жестком" спектре Pu-Be источника и потери информации при просмотре эмульсий на микроскопе.

В табл.3 приведены средние для ядерно-физических установок значения отношения показаний широко используемых в практике дозиметрического контроля дозиметров к наиболее вероятной эквивалентной дозе.

Таблица 3

Отношение измеренных величин эквивалентной дозы к наиболее вероятной величине

Установка	Ускорители тяжелых ионов	ИБР-30	Синхроциклотрон	Синхрофазотрон	
Дозиметр		в пучке за защитой	"жесткий" спектр	"мягкий" спектр	
ИФК _н	0,4	0,6	2,0 б/	0,8 б/	0,9 б/
Бэрметр а/	1,8	1,2	1,1 в/	2,2	1,5 в/

а/ Детектор медленных нейтронов в полиэтиленовом замедлителе диаметром 25,4; б/ приведены данные, скорректированные по методике⁴¹ в/ отношение показаний дозиметра к эквивалентной дозе нейтронов с E < 20 МэВ.

Систематическое завышение барметром эквивалентной дозы нейтронов связано с относительно высокой чувствительностью прибора к промежуточным нейтронам и регистрацией детектором нейтронов с энергией более 20 МэВ.

3.3. Защита от излучений ускорителей

3.3.1. Экспериментальная проверка методов расчета характеристик полей излучения за защитой ускорителей

Первые систематические исследования^{/42/} точности расчетов интегральных характеристик поля излучения за защитой синхротрона показали, что в рассмотренном диапазоне углов и толщин защиты эквивалентные дозы, рассчитанные полуэмпирическими методами, как правило, отличаются от измеренных величин не более, чем в 3 раза; методы решения кинетического уравнения в плоской геометрии с такой же точностью позволяют рассчитывать потоки релятивистских нейтронов. Метод Монте-Карло дает возможность вычислить потоки этих частиц с точностью не хуже +50%. Следующим этапом проверки методов расчета защиты ускорителей протонов явилось сравнение рассчитанных и измеренных дифференциальных характеристик поля излучения за защитой^{/10/}. Это сравнение показало /см. рис.6/, что спектр нейтронов, рассчитанный методом Монте-Карло^{/43/}, хорошо описывает форму энергетического распределения нейтронов, а значения потоков разных энергетических групп не отличаются от измеренных более чем в 2 раза.

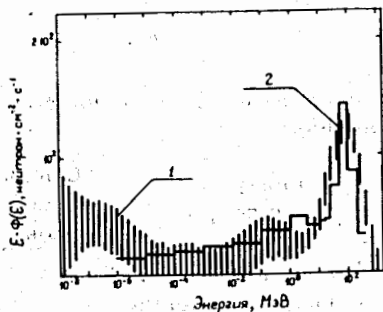


Рис. 6. Спектр нейтронов за двухметровой бетонной защитой от "толстой" медной мишени, бомбардируемой протонами с энергией 630 МэВ^{/10/}. 1 - измеренный спектр; 2 - расчет методом Монте-Карло.

3.3.2. Исследования активации строительных материалов

Экспериментальные исследования^{/18/} активации строительных материалов были выполнены на синхротроне ЛЯП ОИЯИ. Исследовалась активация как материалов, широко используемых

в защитах ускорителей /грунт и бетоны/, так и материалов, которые представляются перспективными с точки зрения их низкой активации /мрамор, борированные бетоны/. Эти исследования показали, что наведенная активность материалов уменьшается с уменьшением содержания Na, Mn, Fe, Al, Si в составе материала. По степени активации исследованные материалы располагаются в следующем порядке возрастания наведенной радиоактивности: мрамор, обычный бетон, грунт, гематитовый бетон.

4. ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Анализ результатов исследования дозиметрических характеристик полей излучения ядерно-физических установок ОИЯИ и адекватности показаний детекторов дозе радиации в таких полях позволил сделать следующие выводы и рекомендации:

1. Энергетические распределения потоков и эквивалентных доз нейтронов в полях излучения ядерно-физических установок существенно зависят не только от вида и максимальной энергии первичных частиц, но также от геометрии "источник-защита" и композиции защиты. Лидирующей группой нейтронов, определяющей размеры защиты и радиационную обстановку за сплошной защитой ускорителей протонов на высокие энергии, являются частицы с энергией более 20 МэВ. Проемы в защите приводят к увеличению вклада частиц низких энергий в поток и дозу излучения за защитой.

2. Завышение эквивалентной дозы за защитой ускорителей протонов на высокие энергии дозиметрами, регистрирующими нейтроны по протонам отдачи в веществе детектора, обусловлено вкладом в показания дозиметров протонов, выходящих из защиты и с высокой эффективностью регистрируемых детектором.

3. Точность измерения эквивалентной дозы излучения широко используемыми в настоящее время методами пока еще ниже величин, рекомендованных МКРЕ, в полях излучений, где эквивалентная доза сопоставима с предельно допустимыми величинами.

4. Определение индивидуальных доз облучения нейтронами сотрудников, работающих в полях излучения ускорителей тяжелых ионов У-200, У-300 и импульсного быстрого реактора, необходимо выполнять с использованием для градуировки дозиметров ИФК_н источника ²⁵²Cf. При коррекции показаний ИФК_н следует использовать полученные в работах /3,4,9,13,20,24/ данные.

5. Для измерений эквивалентной дозы и спектров нейтронов в полях ядерно-физических установок ОИЯИ следует рекомендовать детекторы медленных нейтронов с замедлителями и углеродсодер-

жащий детектор, т.е. набор детекторов, позволяющий регистрировать нейтроны в диапазоне энергий от тепловых до нейтронов, имеющих максимальные для установок ОИЯИ энергии.

6. При расчете защиты ускорителей протонов на энергии менее 1 ГэВ расчетные методы, основанные на решении кинетического уравнения, и полуэмпирические методы позволяют оценить потоки нуклонов и эквивалентные дозы за защитой толщиной $\sim 500 \text{ г/см}^2$ с точностью коэффициента 2 ± 3 . Это эквивалентно погрешности в определении толщины защиты 10-20%. Для достижения лучшей точности расчета защиты следует использовать метод Монте-Карло.

7. При проектировании защиты ускорителей протонов на высокие энергии следует учитывать, что уменьшение наведенной активности будет наблюдаться в материалах, имеющих в своем составе меньшее содержание элементов Na, Mn, Fe, Al, Si.

В заключение авторы выражают признательность М.И.Салацкой за полезные замечания при подготовке рукописи работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алейников В.Е. и др. In: Proc. of Symposium "Neutron Monitoring for Radiation Protection Purposes", Vienna, December 1972. Vienna, 1973, vol.2, p.363.
2. Алейников В.Е. и др. ОИЯИ, Р16-80-601, Дубна, 1980.
3. Алейников В.Е. и др. ОИЯИ, Р16-80-448, Дубна, 1980.
4. Алейников В.Е. и др. ОИЯИ, Р16-12122, Дубна, 1979.
5. Alejnikov V.E. et al. In: Proc. IVth Int. Congress IRPA, Paris, 1977, vol.3, p.831.
6. Архипов В.А. и др. ОИЯИ, Р13-12466, Дубна, 1979.
7. Бамблевский В.П. и др. ОИЯИ, Р16-12705, Дубна, 1979.
8. Алейников В.Е. и др. ОИЯИ, Б1-16-80-157, Дубна, 1980.
9. Архипов В.А. и др. ОИЯИ, 16-11317, Дубна, 1978.
10. Алейников В.Е., Гердт В.П., Комочков М.М. ОИЯИ, Р16-9870, Дубна, 1976.
11. Комочков М.М. и др. ОИЯИ, Р16-12078, Дубна, 1979.
12. Алейников В.Е. и др. ОИЯИ, Р6-12732, Дубна, 1979.
13. Комендантова Г.А. и др. ОИЯИ, 16-12858, Дубна, 1980.
14. Тимошенко Г.Н., Алейников В.Е., Хан Г. Kernenergie, 1978, 6, p.181.
15. Alejnikov V.E., Gerdt V.P., Komotchkov M.M. In: Proc. IVth Int. Congress IRPA, 1977, vol.3, p.823.
16. Алейников В.Е., Бамблевский В.П., Комочков М.М. ОИЯИ, Р16-9621, Дубна, 1976.
17. Бамблевский В.П., Гречко В.В. ОИЯИ, Р16-12069, Дубна, 1978.

18. Касьянов В.Ф., Комочков М.М., Тетерев Ю.Г. ОИЯИ, 16-12375, Дубна, 1979.
19. Комочков М.М. и др. ОИЯИ, 13-10188, Дубна, 1976.
20. Комочков М.М., Салацкая М.И. ОИЯИ, Р16-9780, Дубна, 1976.
21. Гелев М.Г. и др. ОИЯИ, Р16-9749, Дубна, 1976.
22. Комочков М.М. ОИЯИ, Р16-10647, Дубна, 1977.
23. Алейников В.Е. и др. ОИЯИ, Р16-12819, Дубна, 1979.
24. Гельфанд Е.К. и др. АЭ, 1980, т.49, вып.2, с.108.
25. Гельфанд Е.К. и др. ОИЯИ, Р16-12551, Дубна, 1979.
26. Бамблевский В.П., Гречко В.В. ОИЯИ, Б2-16-12133, Дубна, 1979.
27. Алейников В.Е. и др. АЭ, 1976, т.41, вып.5, с.332.
28. Алейников В.Е. и др. Kernenergie, 1979, 12, p.416.
29. Туровцева Л.С. Препринт ИПМ АН СССР, №30, М., 1971.
30. Dörschel V. et al. Kernenergie, 1971, 14, p.360.
31. Trousil J. et al. In: Proc. of the Symposium on Neutron Monitoring for Radiation Protection Purposes, Vienna, 1973, vol.2, p.139.
32. Spurny F., Turek K. In: Proc. of 9th Int. Conf. on Solid State Nucl. Track Detectors, Heuherberg, 30 September - 6 October, 1976.
33. Зельчинский М. и др. ОИЯИ, Р16-5383, Дубна, 1970.
34. Zielczynski M., Zarnowiecki K. Neutron Monitoring. IAEA, Vienna, 1966, p.125.
35. Zielczynski M. Report IBJ Nr. 148/XIX/D/B, Warszawa, 1973, p.8.
36. Комочков М.М., Салацкая М.И. ОИЯИ, Р16-8175, Дубна, 1974.
37. Бочвар И.А. и др. Метод дозиметрии ИКС. Атомиздат, М., 1977.
38. Барашенков В.С., Тонеев В.Д. Взаимодействия высокоэнергетических частиц и атомных ядер с ядрами. Атомиздат, М., 1972.
39. Голованов Н.А. и др. Труды СНИИП, Атомиздат, М., 1964, вып.1, с.36.
40. ICRU Report 20, p.7, Washington, D.C., 1971.
41. Комочков М.М., Салацкая М.И. В кн.: Труды IV Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. "Наука", М., 1975, т.2, с.215.
42. Алейников В.Е. В кн.: Труды IV Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. "Наука", М., 1975, т.2, с.226.
43. Соболевский Н.М. ОИЯИ, Б1-2-5458, Дубна, 1970.

Рукопись поступила в издательский отдел
11 февраля 1981 года.