

С 349.а
Л-33

22/XI-65

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P-2385



В.Н. Лебедев, М. Зельчинский, М.И. Салацкая

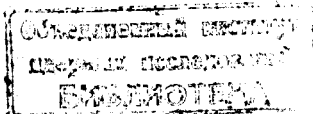
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТОРА
КАЧЕСТВА ИЗЛУЧЕНИЯ
ВБЛИЗИ УСКОРИТЕЛЕЙ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ

P-2395

В.Н. Лебедев, М. Зельчинский, М.И. Салацкая

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТОРА
КАЧЕСТВА ИЗЛУЧЕНИЯ
В БЛИЗИ УСКОРИТЕЛЕЙ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ

Направлено в журнал "Атомная энергия"



Современные протонные ускорители высокой энергии порождают мощное вторичное излучение с очень сложным составом. Энергетический диапазон каждой компоненты простирается от долей электронвольта до энергии, близкой к максимальной энергии ускоренных протонов. Такое разнообразие наряду с импульсным характером излучения чрезвычайно затрудняет определение степени радиационной опасности. Практически в такой ситуации удастся исследовать лишь компоненты, дающие наибольший вклад в дозу в местах пребывания персонала ^{/1-3/}. При этом для оценки вклада нуклонов очень высокой энергии, как правило, пользуются различными упрощающими предположениями, удовлетворительными лишь в первом приближении. Однако даже в случае абсолютной справедливости этих предположений неизбежно возникает дополнительная погрешность в результате того, что соотношение между потоком нейтронов высокой энергии и дозой, рекомендуемое ^{/4/}, нельзя считать строго обоснованным. Выход из такого положения можно найти, в частности, опираясь на известное экспериментальное соотношение между плотностью линейных потерь энергии и фактором качества — $QF(x)$ ^{/5,6/}. Пользуясь этим соотношением, можно вычислить эффективную величину QF любого излучения с произвольной энергетической зависимостью, если известен спектр ЛПЭ этого излучения. Зная величину QF , нетрудно оценить значения дозового эквивалента в бэрадах. Спектр ЛПЭ, в свою очередь, можно определить с помощью тканеэквивалентного пропорционального счетчика Росси ^{/8-9/}. Оценку среднего значения ЛПЭ можно получить также путем анализа треков в ядерных эмульсиях или на снимках с трековых камер ^{/10,11/}. Однако любой из перечисленных методов по понятным причинам не пригоден для быстрых и оперативных измерений в практических условиях.

Предложенный недавно рекомбинационный метод ^{/12,13/} дает возможность преодолеть некоторые из этих трудностей и определить эффективный фактор качества неизвестного излучения одновременно с измерением поглощенной дозы, не прибегая к анализу

х) Термин "фактор качества" излучения предложен МКРЕ ^{/7/} для обозначения физически измеримого параметра излучения, характеризующего это излучение с точки зрения ожидаемого биологического эффекта, в отличие от термина "относительная биологическая эффективность" (ОБЭ), который теперь рекомендуют использовать только в радиобиологии.

спектра ЛПЭ. Этот метод и был использован для определения величины фактора качества смешанного импульсного излучения вблизи ускорителей высокой энергии ОИЯИ. Ниже приведены результаты этой работы.

Измерения производили с помощью двоеквивалентной рекомбинационной камеры, подробно описанной в работе^{/14/}. Величиной, пропорциональной фактору качества, служило отношение ионных токов двух камер, одна из которых работала в режиме насыщения, а в другой были созданы условия для колонной рекомбинации. В режиме колонной рекомбинации количество рекомбинирующих ионов зависит от линейной плотности ионов в треках частиц.

Результаты измерений, усредненные по всему объему камеры, соответствуют эффективной глубине в ткани от 2 до 5 см, что обусловлено конструктивными особенностями тканееквивалентной камеры. Погрешность, возникающую за счет довольно больших (30 см x 30 см) размеров камеры (неоднородность поля излучения, изменение спектра в объеме камеры и т.д.), не учитывали.

Результаты измерений эффективного фактора качества излучения в наиболее характерных точках внутри здания синхротрона на 10 ГэВ представлены на рис. 1. Как и можно было ожидать, $QF_{эф}$ достигает минимального значения (≈ 3) на участках, непосредственно прилегающих к открытым прямолинейным промежуткам ускорителя. В этих местах основной вклад в дозу дают первичные и вторичные частицы высокой энергии: релятивистские протоны и нейтроны, мезоны и электронно-фотонная компонента, обладающие минимальными удельными потерями энергии. По мере удаления от открытых участков вакуумной камеры фактор качества заметно увеличивается и в центре зала ускорителя достигает величины 5 (средняя энергия быстрых нейтронов в этой точке равна 0,8 МэВ^{/3/}). Напротив окон в ядре электромагнита (ядро электромагнита состоит, как показано на рис. 1, из четырех квадрантов, в каждом из которых имеется 12 окон овальной формы 1 x 1,5 м и 12 вертикальных щелей шириной 0,2 м) фактор качества равен 3,8, напротив щелей - 4,5, что также определяется разным вкладом высокоэнергетичной компоненты. За тонкой стеной (60 см силикатного кирпича) фактор качества увеличивается незначительно. По-видимому, это обусловлено тем, что поток нейтронов, убывающий при прохождении через стену, восполняется за счет каскадных процессов. За толстой защитой в экспериментальных залах величина фактора качества возрастает до максимального значения, равного 8-10. Такая величина QF хорошо согласуется со средней энергией быстрых нейтронов на этих участках (0,4-0,8 МэВ), если учесть, что в малом экспериментальном зале высокоэнергетичная компонента практически отсутствует.

Погрешность при измерениях составляла - 30%. Она обусловлена прежде всего неполной тканееквивалентностью материала, из которого изготовлена камера; неполным

насыщением в камере, работающей в режиме насыщения, для сильно ионизирующих частиц; погрешностями, возникающими при измерении ионного тока камеры; некоторой нелинейностью характеристики камеры в режиме рекомбинации^{/15,16/}. Однако погрешность при относительных измерениях (разброс показаний одного и того же прибора) существенно меньше и не превышала, как можно ожидать, 15%. Этот факт позволяет различить в зале ускорителя несколько характеристик участков в зависимости от величины QF , как указано в таблице 1.

Приведенные на рис. 1 и в таблице 1 величины в пределах ошибки измерений хорошо согласуются (за исключением одной точки) с результатами оценки, выполненной при заведомо пессимистических предположениях о спектре и составе излучения^{/3/}.

Величину эффективного фактора качества излучения вблизи других ускорителей высокой энергии оценивали многие авторы^{/8-11,16/}. Однако провести сравнение всех известных результатов довольно трудно, поскольку геометрия защиты на разных ускорителях различна и, кроме того, расположение точек измерения по отношению к ускорителю в этих работах указано не вполне конкретно. Тем не менее мы попытались обобщить эти данные в таблице 1. Как следует из таблицы, результаты измерений и оценок довольно хорошо совпадают по величине, за исключением данных, относящихся к беватрону и полученных на основании анализа спектра ЛПЭ, т.е. наиболее достоверных по способу получения информации. Весьма сомнительно, чтобы эти данные были ошибочными, однако нет оснований и приписывать величину $QF = 1,8-2,8$ излучению на удаленных от ускорителя участках ("control room"; например), сильно обогащенному в мягкой области^{/28/}. Можно предположить, что это связано с наличием в местах измерения большого количества релятивистских частиц, хотя прямое указание на это в работе^{/9/} отсутствует.

Результаты измерения фактора качества излучения в коллимированных пучках частиц от синхроциклотрона ОИЯИ на 880 МэВ приведены в таблице 2.

Для пучка нейтронов с максимальной энергией 880 МэВ^{/17/} измерения производили в водном фантоме^{/28/}. Максимум поглощенной дозы соответствовал 24 см воды. Изменение коэффициента качества с глубиной незначительно и не превосходило ошибки измерений вплоть до 1,2 метров. Измерение коэффициента качества в пучке протонов с энергией 880 МэВ производили без фантома.

В графе 3-4 той же таблицы 2 приведены для сравнения результаты вычислений или измерений величины QF из работ других авторов и, кроме того, для сопоставления - величины ОБЭ, полученные, как правило, при острых облучениях животных (мышей и собак).

В заключение авторы пользуются случаем выразить благодарность В.Г. Буянину и Э.И. Обьезднову за проведение измерений.

Эффективный фактор качества излучения - QF эф

Характеристики участков

Синхрофазотрон ОИЯИ на 10 ГэВ	Космотрон на 3 ГэВ	Безавтрон на 6,2 ГэВ	Прогонный синхро- трон ЦЕРН на 28 ГэВ
рекомб. метод (рис.1)	оценка на основании состава излу- чения		

3 Участки, расположенные в непо-
средственной близости (2-3м)
к неэкранированной вакуумной
камере ускорителя

3,4-5 Внешняя и внутренняя кольцевые
зоны вдоль ярма электромагнита
(в том числе центр зала)

5-6 Участки, расположенные за тонкой
(до 60 см) защитой. (Места воз-
можного пребывания персонала)

6-10 Участки, расположенные за толстой
(в плоскости равновесной орбиты)
защитой. (Места постоянного пре-
бывания персонала).

3	-	4,3-4,1-8,0-5,8 /16/	(в разных точках)
3,4-5	4,1-6,5/3/	1,8±20%/8/	(в разных точках)
5-6	4,5/3/	2,8±20%/8/	(в разных точках)
6-10	6,9-9,2/3/	5/10/ 8,1/11/	(в разных точках)

Т а б л и ц а 2

Тип излучения	Эффективный фактор качества излучения, QF эф		
	Синхроциклотрон на 680 МэВ	Литературные данные	О Б Э
Нейтроны			
$E_{п max} = 680$ МэВ	$2,7 \pm 0,8$	-	-
Протоны			
$E_p = 680$ МэВ	$1,8 \pm 0,6$	$1,4^x) /18/$	$0,7-2^{xx})$ (/19-24/)
Рассеянное излучение в эксперимент. залах за толстой защитой	-	$5,3 \pm 0,5^{/9/}$ $10-13-3,6-4^{xxx}) /16/$	-

x) для протонов с энергией 100-400 МэВ

xx) для протонов с энергией 510-730 МэВ (данные относятся к острым облучениям)

xxx) измерено на разных участках.

Л и т е р а т у р а

1. Р.Валлес и др. Сб. материалов симпозиума по отдельным вопросам дозиметрии. Госатомиздат, М, 1962 г.
2. В.Мoyer. Conference on Shielding of High-Energy Accelerators, 1957, p. 38.
3. Л.С.Золн, В.Н.Лебедев, М.И.Салацкая. Препринт ОИЯИ 2251, Дубна 1965.
4. Санитарные правила работы с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений, № 333-60, М., 1960 г.
5. Рекомендации МКРЗ, ИЛ, Москва, 1958 г.
6. Report of the RBE Committee, Health Phys., 9, 357 (1963).

7. Новые рекомендации МКРЕ (доклад 10а, 1982). Измерит. техника 10, 54-59 (1983).
8. H.H.Rossi, W.Rosenzweig, Rad. Res, 10, 532 (1959).
9. H.H.Rossi et al. Health Phys., 8, 331-342 (1962).
10. K.O.Vrien et al. Neutron Dosimetry, IAEA, Vienna, 1963 v.I.
11. J.Handloser. Health Phys., 2, 165 (1959).
12. М. Зельчинский. Neutron Dosimetry, IAEA, Vienna, 1963 v.I.
13. A.Sullivan, J.Vaadi. Preprint CERN 63/17, 1963.
14. М. Зельчинский, В.Н. Лебедев, М.И. Салацкая. ПТЭ, 8, 73 (1984).
15. М. Зельчинский. Nucleonika 7, 175 (1962).
16. J.Vaadi. Отчет ЦЕРН Д1/НР/от 28 авг. 1984.
17. В.С. Киселев и др. ЖЭТФ 35, 812 (1958).
18. J.Turner et al. Health Phys., 10, 783 (1964).
19. П.П. Саксонов и др. Докл. АН СССР 162, 688 (1965).
20. Ю.Г. Григорьев и др. Biolog Effects of Neutron and Proton Irradiation, IAEA, Vienna 1964, p.223-229.
21. Сб. "Материалы по биологическому действию протонов высоких энергий", М., 1982.
22. А.В. Лебединский, Ю.Г. Нефедов и др. Тезисы доклады АН СССР, 1982, стр. 12.
23. P.Vollet-Maury et al. Biolog Effects of Neutron and Proton Irradiation, IAEA, Vienna 1964, p. 261.
24. J.K.Ashikawa et al. Там же Стр. 249.
25. М. Зельчинский. Nucleonika X, 77-79 (1965).
26. R.L.Lehman and O.M.Fekula. Nucleonics, 22 35 (1964).

Рукопись поступила в издательский отдел
12 октября 1985 г.

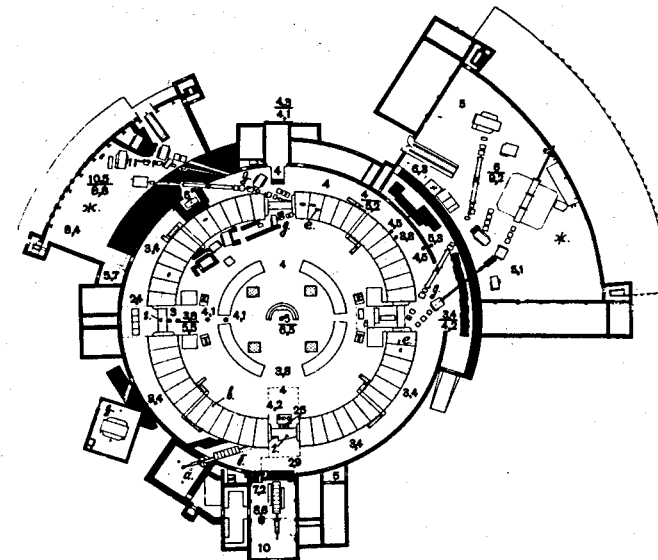


Рис. 1. Эффективный фактор качества смешанного излучения в здании синхрофазотрона на 10 Гэв. Под чертой указаны значения $QF_{эф}$, заимствованные для сравнения из работы [3], (а - форинжектор на 570 кэв; б - линейный ускоритель на 9 Мэв; в - ядро электромагнита синхрофазотрона, г - прямолинейные промежутки; д - каналы частиц высокой энергии; е - рабочие мишени; ж - экспериментальный зал).