

С 3498

3-177

Ат. эмер., 1968,  
Т. 24, в. 2, с. 182

31/VIII-67

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P9 - 3435



Л.Н. Зайцев, Л.Р. Кимель, М.М. Комочков,  
В.П. Сидорин, Б.С. Сычев, О.А. Улитин,  
Е.П. Череватенко

ОСЛАБЛЕНИЕ  
РАССЕЯННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СИНХРОЦИКЛОТРОНА  
В ЗАЩИТЕ

Зайцев Л.Н., Кимель Л.Р., Комочков М.М., Р9-3435  
Сидорин В.П., Сычев Б.С., Улитин О.А., Череватенко Е.П.

Ослабление рассеянного излучения синхротрона в защите

Экспериментально изучено ослабление рассеянного излучения синхротрона в обычном и гематитовом бетонах. Полученные данные позволяют проверить методику расчета формирования и ослабления рассеянного излучения в защите и более обосновано подойти к вопросу конструирования защитных перекрытий.

Препринт Объединенного института ядерных исследований.  
Дубна, 1967.

Zaitsev L.N., Kimel L.R., Komochkov M.M., Sidorin V.P., Р9-3435  
Sychev B.S., Ulitin O.A., Cherevatenko E.P.

Attenuation of Synchrocyclotron Stray Radiation  
in Shielding

The attenuation of synchrocyclotron stray radiation in the ordinary and heavy concrete is experimentally investigated. The data obtained allow to check the calculation method of the formation and attenuation of stray radiation in the shielding and to approach a question of the shielding construction more substantially.

Preprint. Joint Institute for Nuclear Research.  
Dubna, 1967.

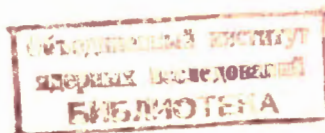
P9 - 3435

5195/1 мф.

Л.Н. Зайцев, Л.Р. Кимель, М.М. Комочков,  
В.П. Сидорин, Б.С. Сычев, О.А. Улитин,  
Е.П. Череватенко

ОСЛАБЛЕНИЕ  
РАССЕЯННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СИНХРОЦИКЛОТРОНА  
В ЗАЩИТЕ

Направлено в АЭ



При проектировании сильноточных ускорителей возникает вопрос о расчёте защитных перекрытий от рассеянного излучения. Однако в настоящее время почти полностью отсутствует экспериментальная информация относительно параметров ослабления рассеянного излучения ускорителей в защите. В работе <sup>/1/</sup> предлагается методика расчёта ослабления рассеянного излучения различных энергетических групп в защите. В данной работе проведено экспериментальное исследование ослабления рассеянного излучения синхротрона в обычном и гематитовом бетонах.

По своему энергетическому составу рассеянное излучение может существенно отличаться для разных точек зала ускорителя. Если для низкоэнергетической части спектра нейтронов ( $E \approx 1$  Мэв) характерно сравнительно равномерное пространственное распределение, то потоки нейтронов с энергией более 20 Мэв существенно зависят от взаимного расположения точки наблюдения, "отражателя" и источника излучений <sup>/1/</sup>. В настоящих исследованиях установка из обычного бетона находилась в условиях "жесткого" спектра рассеянного излучения, а установка из гематитового бетона — в условиях "мягкого" спектра. Большинство реальных перекрытий отвечает некоторым промежуточным условиям.

Экспериментальная установка из обычного бетона представляла собой блок размером 2150 x 1780 x 1230 мм и располагалась у ядра магнита синхротрона ОИЯИ (рис. 1). Химический состав бетона приведен в табл. 1. Конструкция кассет пяти вертикальных каналов позволяла устанавливать детекторы через 10 см. Характеристики детекторов, использованных в опытах, даны в работе <sup>/2/</sup>.

Для определения степени подобия реальному перекрытию на экспериментальной установке было измерено поле рассеянного излучения и ослабление потоков нейтронов четырех энергетических групп в горизонтальном направлении на различных уровнях. Как показали эти измерения, установка отвечает требованиям реального перекрытия, однако при исследовании ослабления на больших толщинах ( $d > 60$  см) необходимо учитывать вклад излучения от боковых граней установки. На рис. 2 представлены экспериментальные данные по ослаблению потоков рассеянных нейтронов различных энергетических групп и мощности дозы гамма-излучения в зависимости от толщины защиты. Характер ослабления потоков нейтронов высокой энергии ( $E > 20$  Мэв) и быстрых нейтронов практически совпадает уже на толщинах защиты  $d > 20$  см и имеет экспоненциальный вид.

При использовании соотношения между потоками быстрых нейтронов и нейтронов высокой энергии<sup>/3/</sup> и данных о сечениях выведения потоков нейтронов в бетоне<sup>/4/</sup> можно получить оценку фактора накопления потока быстрых нейтронов:  $0,5 \pm 1,1$ . Неопределенность в этой величине обусловлена в основном значением фактора первоначального накопления потока быстрых нейтронов.<sup>/3/</sup>

Экспериментальные точки, отмеченные звездочкой, получены путем учёта (вычитания) фона нейтронов, прошедших через боковые грани установки. За максимальное значение фона было принято значение потока нейтронов в последней точке.

На рис. 2 приведена кривая ослабления потоков резонансных нейтронов ( $E \approx 1,44$  эв), рассчитанная согласно теории возраста. На толщинах защиты  $d > 50$  см расхождение между результатами расчёта и эксперимента определяется тем, что решение возрастного уравнения несправедливо для больших толщин защиты. В этом случае необходимо использовать "улучшенную" теорию возраста, учитывающую экспоненциальное распределение источников замедляющихся нейтронов.

На начальных слоях защиты наблюдается накопление тепловых нейтронов. Это можно объяснить тем, что падающий спектр нейтронов сильно "обеднен" тепловыми нейтронами, так как эффективные материалы стен здания синхротрона и экспериментальной установки отличаются поглощающими свойствами по отношению к тепловым нейтронам. Хорошее совпадение расчётной кривой ослабления мощности дозы захватного гамма-излучения с эксперименталь-

ными данными указывает на применимость методики, предложенной в работе<sup>/1/</sup>, к расчёту захватного гамма-излучения.

На рис. 3 сравниваются экспериментальные данные, характеризующие распределение потоков рассеянных нейтронов высокой энергии в обычном бетоне с результатами расчёта для двух углов падения нейтронов на защиту ( $\gamma_1 = 45^\circ$  и  $\gamma_2 = 60^\circ$ ). В выборе среднего угла падения существует большая неопределенность, обусловленная тем обстоятельством, что рассеянные нейтроны высокой энергии образуются не только в стенах зала ускорителя, но и в магнитных линзах, сепараторах и другом оборудовании (рис. 1). В табл. 2 приведены значения длин ослабления потоков рассеянных нейтронов высокой энергии, полученные по данным расчёта и эксперимента. Было установлено, что характер изменения потоков рассеянных быстрых нейтронов в защите определяется характером изменения потока нейтронов высокой энергии. Поэтому для сравнения в табл. 2 приведена длина ослабления потоков рассеянных быстрых нейтронов, полученная на синхроциклотроне в ЦЕРНе<sup>/5/</sup>. Следует отметить, что длина ослабления потоков нейтронов высокой энергии ( $E > 20$  Мэв) от бериллиевой мишени, бомбардируемой протонами с энергией от 170 до 660 Мэв, в обычном бетоне составляет  $42 \pm 61$  см<sup>/6/</sup>, что приблизительно в 2,2  $\pm$  3,2 раза больше, чем для той же группы нейтронов рассеянного излучения.

Экспериментальная установка из гематитового бетона представляла собой два блока размером 1 x 1 x 1 м, экранированных блоками из обычного бетона, и располагалась на ярме магнита синхроциклотрона ОИЯИ (рис. 1). Химический состав гематитового бетона приведен в табл. 1. Детекторы устанавливались в канале сечением 25 x 105 x 650 мм. По своему энергетическому составу поле рассеянного излучения на ярме магнита в основном определяется нейтронами низких энергий<sup>/1/</sup>. Потоки рассеянных нейтронов высокой энергии падают на экспериментальную установку под очень большими углами и, следовательно, очень резко ослабляются в защите. Данное обстоятельство и малая чувствительность углеродных детекторов ( $\approx 100$  нейтр/см<sup>2</sup>сек) не позволили экспериментально определить ослабление потока нейтронов высокой энергии в гематитовом бетоне. На рис. 4 приведено распределение потоков резонансных и тепловых нейтронов в гематитовом бетоне. Расчётные кривые ослабления потоков резонансных нейтронов построены для двух крайних случаев: когда спектр замедляющихся промежуточных нейтронов принят в виде монохроматической линии

( $E_0 = 1,5$  Мэв) (кривая 1) и когда спектр замедляющихся промежуточных нейтронов имеет вид  $1/E$  (кривая 2). Истинный спектр замедляющихся промежуточных нейтронов лежит между двумя указанными случаями. Сравнение экспериментальных и расчётных данных по распределению потоков рассеянных нейтронов различных энергетических групп и мощности дозы захватного гамма-излучения в защите показывает удовлетворительное согласие, что дает возможность рекомендовать предложенную методику <sup>/1/</sup> для расчёта защитных перекрытий. На стадии предварительного проектирования защитных перекрытий в подобных геометрических условиях можно использовать полученные экспериментальные значения длин ослабления. Выбор материалов защитных перекрытий в каждом конкретном случае определяется при расчёте суммарной дозы от различных компонентов излучения за защитой.

#### Л и т е р а т у р а

1. Л.Р.Кимель и др. Препринт ОИЯИ Р9-3402 1967.
2. Б.С.Сычѳв и др. Атомная энергия, 20, 323 (1966).
3. Д.Л.Бродер и др. Бетон в защите ядерных установок. Атомиздат, М. 1966.
4. Л.Р.Кимель и др. в сборнике "Вопросы дозиметрии и защиты от излучения" вып. 6, Атомиздат, М., 1967.
5. S.Charalambus et al. Measurements of the radiation escaping from the synchro-cyclotron CERN DI/HP/74, April 1965.
6. Л.Н.Зайцев, М.М.Комочков, Б.С.Сычѳв. "Атомная энергия". 12, 525 (1962).

Рукопись поступила в издательский отдел  
14 июля 1967 года.

Таблица 1  
Химический состав обычного и гематитового бетонов\*, кг/м<sup>3</sup>.

Элементы	H	O	C	Mg	Al	Si	S	Ca	Na	Fe
$\rho = 2350 \text{ кг/м}^3$	13,6	1997	122	10	20	397	10	567	-	13
$\rho = 3450 \text{ кг/м}^3$	24,4	1351	-	34	35	98	-	278	7	1024

\*/ Точность  $\pm 5\%$

Таблица 2

Длина ослабления  $\lambda$  (см) потока рассеянных нейтронов высокой энергии ( $E > 20 \text{ МэВ}$ ) в обычном бетоне.

Толщина защиты, см	$\lambda$ (расчёт)	$\lambda$ (эксперимент)
10 - 60	18,2 ( $\gamma_1 = 45^\circ$ )	18,8 $\pm$ 1,5
- " -	14,2 ( $\gamma_2 = 60^\circ$ )	
0 - 50		17,8 <sup>/5/</sup>



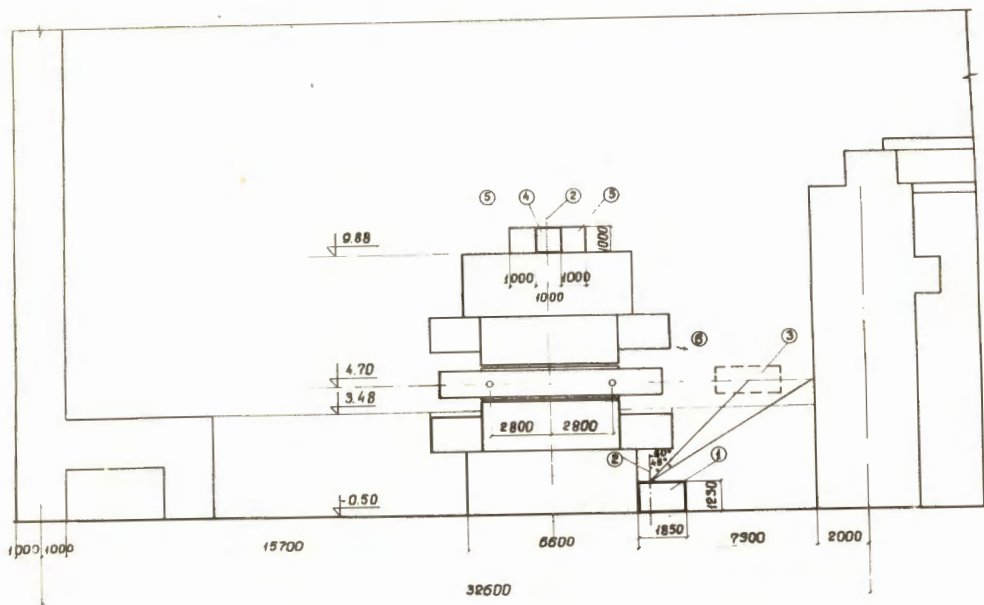


Рис. 1. Расположение экспериментальных установок в здании синхротрона ОИЯИ,

1. Экспериментальная установка из обычного бетона.
2. Ось измерительного канала.
3. Магнитные линзы и сепараторы.
4. Экспериментальная установка из гематитового бетона.
5. Экранирующие блоки.
6. Ось пучка протонов.

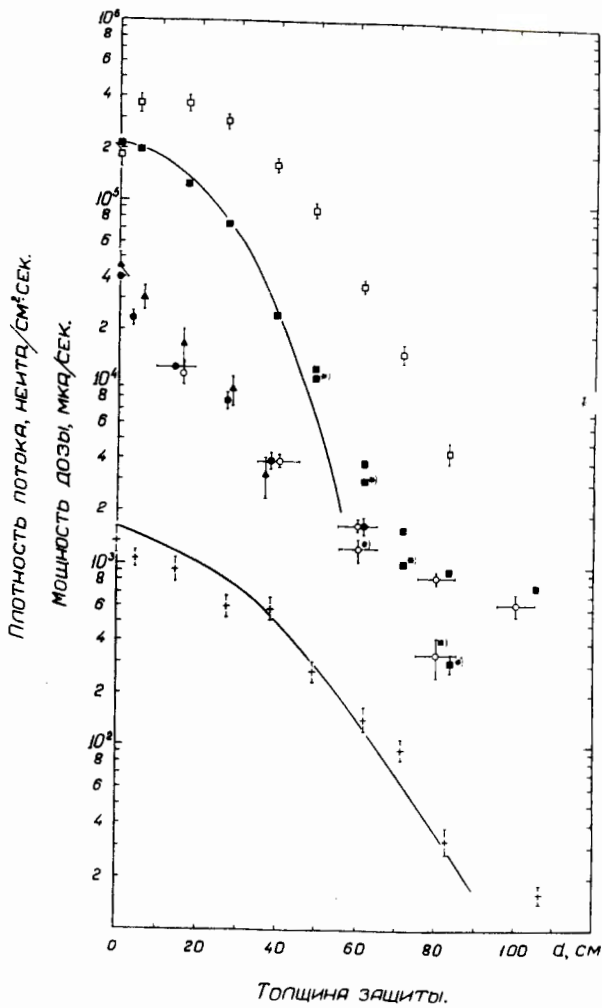


Рис. 2. Распределение потоков рассеянного излучения в обычном бетоне ( $\rho = 2350 \text{ кг/м}^3$ ).

- - распределение потока нейтронов высокой энергии ( $E > 20 \text{ Мэв}$  (жидкий сцинтиллятор),
- - то же (твердый сцинтиллятор),
- ▲ - потока быстрых нейтронов,
- - потока резонансных нейтронов ( $E = 1,44 \text{ эв}$ ),
- - потока тепловых нейтронов,
- + - мощности дозы гамма-излучения (мкр/сек).

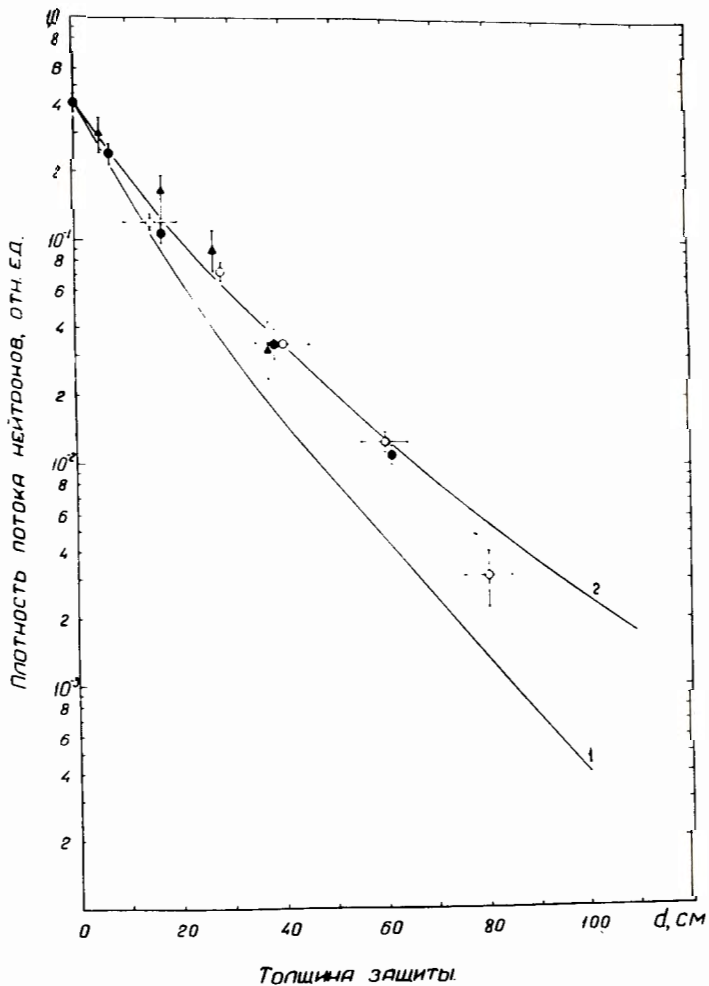


Рис. 3. Сравнение расчётных и экспериментальных данных по ослаблению в обычном бетоне потоков нейтронов высокой энергии ( $E > 20$  Мэв).  
 1. - расчётная кривая для угла падения нейтронов на защиту,  $\gamma = 60^\circ$ ,  
 2. - то же для  $\gamma = 45^\circ$ ,  
 ○ - распределение потока нейтронов высокой энергии ( $E > 30$  Мэв) (жидкий сцинтиллятор);  
 ● - то же (твёрдый сцинтиллятор),  
 ▲ - потока быстрых нейтронов.

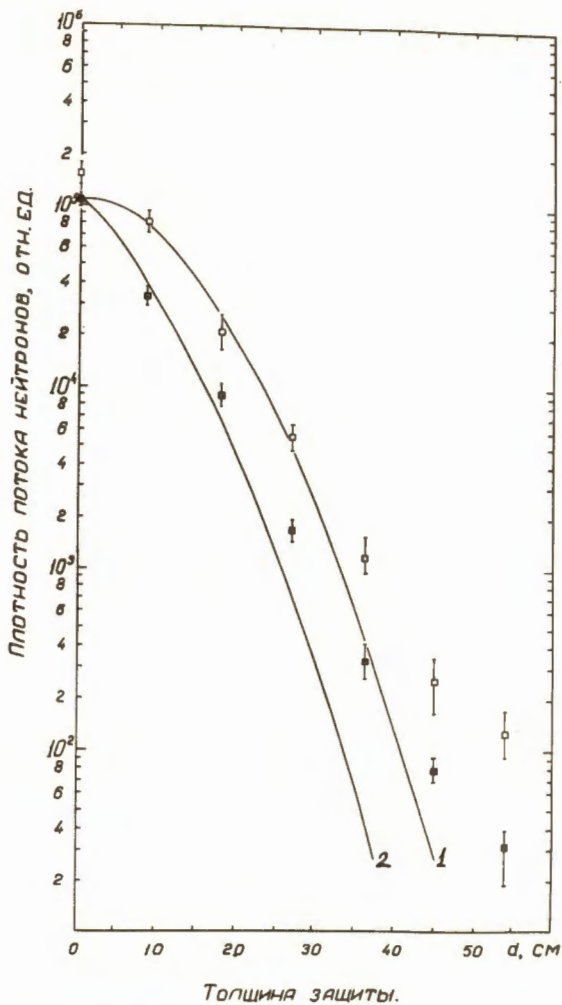


Рис. 4. Распределение потоков тепловых и резонансных нейтронов ( $E \approx 1,44$  эв) в гематитовом бетоне ( $\rho = 3450$  кг/м<sup>3</sup>)

- - распределение потока резонансных нейтронов,
- - потока тепловых нейтронов,
- 1 - расчётная кривая ослабления резонансных нейтронов для монохроматической линии ( $E_0 = 1,5$  Мэв) замедляющихся промежуточных нейтронов,
- 2 - для спектра замедляющихся промежуточных нейтронов вида  $1/E$ .