

Таблица 1

Длины релаксации нейтронов в железе, железо-графитовой и железорудной средах, см

Детектор	Порог, Мэв	Железо [2]	Железо — графит [6]	Железорудная среда
Al ²⁷ (n, α)	~7	6,3	10,4	15,0
S ³² (n, p)	~3	6,5	9,6	14,6
Th ²³² (n, f)	~2	7,5	9,1	—
Счетчик	~0,5	13,5*	11,0	13,9
In в Cd	—	—	9,1	20,0
In	—	—	—	20,0
Cu в Cd	—	24,0	10,8	20,0
Cu	—	24,0	—	21,0

* Из работы [6].

Таблица 2

Влияние малой добавки водорода на ослабление нейтронов в железной и железорудной средах

Детектор	Длина релаксации, см	
	железо-водная смесь *	железорудная среда **
Al ²⁷	7,5	13,3
S ³²	7,3	12,8
Th ²³²	—	12,5
Счетчик	—	12,5
In в Cd	—	11,0
Cu в Cd	—	11,0
Cu	7,7	11,0

* Содержание воды 2,8 вес.% [8].
** Содержание воды ~3,0 вес.%.

где $\sigma_{\text{выв}}^i$ — сечение выведения для i -го элемента смеси ($\sigma_{\text{выв}}^i$ для железа и других элементов взято из работы [10], для кислорода — из [9]); P_i — весовое содержание

i -го элемента; A_i — атомный вес i -го элемента; N_A — число Авогадро; ρ — средняя плотность защиты.

Рассчитанная таким образом длина релаксации λ практически совпала с экспериментальной величиной, полученной по измерениям серным индикатором с порогом 3 Мэв (см. табл. 1). Как и ожидалось, наличие небольшой добавки водорода полностью определило характер ослабления нейтронов в железорудной среде в области энергий ниже 0,5 Мэв, что проявилось в уменьшении длины релаксации тепловых нейтронов в два раза по сравнению с длиной релаксации в безводородной среде. Из сопоставления данных табл. 1 и 2 видно, что водородсодержащая железорудная защита обладает сравнительно высоким ослаблением всего спектра нейтронов реактора. К сожалению, ее водный компонент так же нестойк при высоких температурах, как и в других защитах. Можно попытаться вводить в материал защиты, по крайней мере в ее внешнюю часть, более стойкие добавки, такие, как гидриды металлов, серпентин и т. д.

Авторы хотят выразить благодарность А. И. Лейпунскому, О. Д. Казачковскому за постоянный интерес к работе; М. Я. Кулаковскому за полезные советы и участие в обсуждении результатов; Ю. А. Анохину за помощь в проведении экспериментальных работ.

Поступило в Редакцию 7/III 1964 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Лейпунский и др. «Атомная энергия», 5, 277 (1958).
2. В. П. Машкович, С. Г. Цыпин. Там же, 11, 251 (1961).
3. А. И. Лейпунский и др. Там же, 11, 498 (1961).
4. С. Г. Цыпин. Там же, 12, 300 (1962).
5. G. Hurst. Brit. J. Radiol., 27, 353 (1954).
6. В. К. Даруга и др. См. настоящий выпуск, стр. 60.
7. В. П. Машкович. В сб. «Вопросы физики защиты реакторов». Под ред. Д. Л. Бродера и др. М., Госатомиздат, 1963, стр. 277.
8. В. П. Машкович и др. См. настоящий выпуск, стр. 65.
9. Б. И. Синицын, С. Г. Цыпин. «Атомная энергия», 12, 306 (1962).
10. R. MacDonald, H. Daucot. Nucleonics, 208, 158 (1962).

УДК 621.039.538/539.125.52

Ослабление потоков нейтронов деления в железо-водных смесях

В. П. Машкович, А. Н. Николаев, Б. И. Синицын, С. Г. Цыпин

Известно, что железо хорошо замедляет быстрые нейтроны, но плохо ослабляет нейтроны промежуточных энергий [1—4]. Известно также, что добавление к железу не менее 30 об.% воды делает защиту одинаково эффективной по отношению к быстрым, промежуточным и тепловым нейтронам $P_0 - \alpha - \beta$ -источника и источника моноэнергетических нейтронов с энергией 4 и 14,9 Мэв [5]. Интересно изучить ослабление потоков нейтронов и прежде всего нейтронов деления в железо-водных защитах, содержащих более 75 об.% железа.

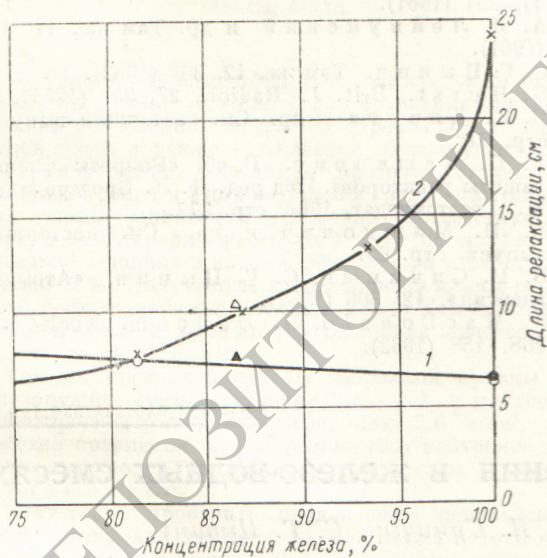
В настоящей работе изучалось ослабление быстрых, тепловых и промежуточных нейтронов в железо-водных смесях при концентрациях железа более 75 об.%. Измерения проводились на установке Б-2 реактора БР-5 [6] для исследования защиты [7]. Источник нейтронов представлял собой дисковый мононаправленный источник с большим углом коллимации около 5°. Спектр быстрых нейтронов измерялся фотопластинками [1]. Было установлено, что он в пределах ошибок измерений совпадает со спектром нейтронов деления при энергиях

выше 3 Мэв и мягче последнего при меньших энергиях.

Железо-водная смесь представляла собой железные пакеты размерами 1320×1360×117 мм [1], помещенные с некоторыми зазорами в заполненный водой бак размерами 1370×1390×2170 мм. Было использовано железо марки Ст-0 (общее содержание примесей С, Мп, S и Р до 0,6%) плотностью 7,86 г/см³. Изменяя величину зазора, можно было изменять концентрацию железа в воде. При расчете концентрации железа в смеси учитывалась вода, заполняющая щели между отдельными листами пакетов.

При помощи специальных пробок с приспособлениями для помещения детекторов в железо-водную смесь помещались индикаторы для измерения потоков быстрых нейтронов по реакциям $Al^{27}(n, \alpha) Na^{24}$; $S^{32}(n, p) P^{32}$ и тепловых и промежуточных нейтронов по реакции $Cu^{63}(n, \gamma) Cu^{64}$. Положение индикаторов в железо-водной смеси фиксировалось с точностью до 1 мм. Поток нейтронов падал на поверхность в центре бака размерами 1370×1390 мм.

Индикаторы представляли собой диски диаметром 35 и толщиной 1 мм из электролитической меди, толщиной 4 мм из алюминия марки АВ-000 и толщиной 6 мм из химически чистой серы. Детекторы располагались на различных расстояниях r от передней стенки бака и на различных расстояниях h от центральной оси пучка аналогично тому, как это делалось в работах [1,8]. Активность индикаторов измерялась на установке Б-2 с торцовым счетчиком типа СИ-2Б, помещенным в свинцовый домик. По результатам измерений с помощью метода, использованного в работах [1,8],



Зависимость длины релаксации быстрых (1) и тепловых и промежуточных нейтронов (2) от концентрации железа по объему в железо-водной смеси (истинная плотность железа ρ_{Fe} составляет 7,86 г/см³):

× — измерения медными индикаторами по реакции $Cu^{63}(n, \gamma) Cu^{64}$; ● — измерения серными индикаторами по реакции $S^{32}(n, p) P^{32}$; ○ — измерения алюминиевыми индикаторами $Al^{27}(n, \alpha) Na^{24}$; ▲ — измерения серными индикаторами по реакции $S^{32}(n, p) P^{32}$ [4]; △ — измерения золотыми фольгами [4].

определялась функция ослабления нейтронов для плоского мононаправленного источника.

Полученные результаты представлены на рисунке в виде зависимости длин релаксации быстрых, тепловых и промежуточных нейтронов от концентрации железа в железо-водной смеси. Значения длин релаксации для чистого железа взяты из работ [1,2]. Для сравнения на рисунке приведены также значения длин релаксации в железо-мазониновой смеси (мазонит состоит из 6,2 вес.% Н, 49,4 вес.% С, 44,4 вес.% О), измеренные в работе [4] с помощью золотых и серных индикаторов. Из данных, приведенных на рисунке, видно, что при концентрации 18 об.% воды эффективность ослабления быстрых, тепловых и промежуточных нейтронов одинакова.

Измерения, проведенные с нейтронами реактора «Наида» в стекляно-водных смесях [9], показали, что 15 об.% воды достаточно, чтобы эффективность ослабления тепловых и быстрых нейтронов была одинаковой. Эти данные находятся в разумном согласии с результатами настоящей работы.

Следует отметить, что в зависимости от атомного номера вещества, вводимого в воду, требуемая концентрация воды, необходимая для одинаковой эффективности ослабления нейтронов быстрой, тепловой и промежуточной групп, будет различной. Этот вывод можно сделать из анализа результатов настоящей работы и работы [10], в которой указывается, что в свинцово-водных смесях для одинаковой эффективности ослабления нейтронов рассматриваемых энергетических групп требуется добавка 65 об.% воды.

Из приведенных результатов настоящей работы и работы [9], в частности, следует, что для легких и средних ядер (включая железо) сечения выведения могут быть использованы для расчетов при содержании водорода по числу атомов в смеси около 10–12%. Это значение меньше рекомендованного в работе [11] почти вдвое.

Поступило в Редакцию 7/III 1964 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. П. Машкович, С. Г. Цыпин. «Атомная энергия», 11, 251 (1961).
2. В. П. Машкович, В. К. Сахаров, С. Г. Цыпин. В сб. «Вопросы физики защиты реакторов». Под ред. Д. Л. Бродера и др. М., Госатомиздат, 1963, стр. 182.
3. Д. Л. Бродер и др. «Атомная энергия», 7, 313 (1959).
4. D. Wood. Nucl. Sci. Engng, 5, 45 (1959).
5. Д. Л. Бродер. «Атомная энергия», 7, 55 (1957).
6. А. И. Лейпунский и др. В кн. «Труды Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии». Докл. сов. ученых. Т. 2. М., Атомиздат, 1959, стр. 215.
7. С. Г. Цыпин. В сб. «Вопросы физики защиты реакторов». Под ред. Д. Л. Бродера и др. М., Госатомиздат, 1963, стр. 243.
8. В. А. Дулин и др. «Атомная энергия», 9, 315 (1960).
9. R. Beange, J. Millot, J. Rastoin. Nucl. Sci. Abstr., 14, 1287 (1960), ссылка № 10147.
10. R. Beange, I. Millot, I. Rastoin. Там же, ссылка № 10148.
11. Б. Прайс, Р. Хортон, К. Спинни. Защита от ядерных излучений. М., Изд-во иностр. лит., 1959.