

Исследование параметров нейтронных фильтров

© В.Г. Киптилый¹, А.В. Ливке², В.И. Нагорный², Ю.Я. Нефедов²,
М.В. Савин², В.И. Семенов², В.А. Чиркин²

¹ Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,
194021 Санкт-Петербург, Россия

² Российский федеральный ядерный центр — ВНИИЭФ, Саров, Россия

(Поступило в Редакцию 3 июня 1997 г.)

Приводятся результаты исследования качества подавления нейтронов фильтрами из гидрида лития ⁶LiH на узком и широком пучке генератора нейтронов с дейтериевой и тритиевой мишенями. Полученные данные могут быть использованы для проектирования измерительных установок, которые эксплуатируются в высоких нейтронных полях.

При решении ряда задач экспериментальной физики возникает проблема регистрации гамма-излучения на фоне нейтронного. Как правило, в этом случае применяют детекторы, у которых эффективность регистрации гамма-квантов значительно превышает эффективность регистрации нейтронов, и одновременно используют фильтры, эффективно подавляющие нейтронное излучение.

Цель настоящей работы — исследование качества подавления нейтронов фильтрами из гидрида лития ⁶LiH и определение эффективности их использования в экспериментах на термоядерном реакторе типа токамак. Исследуемые фильтры нейтронов (Ф1, Ф2, Ф3) представляли собой тонкостенные алюминиевые цилиндры диаметром 30 мм и длиной 300 мм, наполненные мелкокристаллическим гидридом лития. В качестве источника нейтронов в эксперименте использовался генератор НГ-150М с тритиевой и дейтериевой мишенями, при этом энергии нейтронов составляли 14.8 и 2.8 MeV соответственно. Абсолютный выход нейтронов генератора определялся с помощью внутреннего монитора, регистрирующего либо α -частицы, либо протоны, в зависимости от типа используемой мишени. Для учета эффекта миграции дейтронного пучка по мишени интенсивность нейтронов мониторировалась непосредственно на входе измерительной системы с помощью специального детектора. Схема экспериментальной установки приведена на рисунке.

Нейтронный детектор, окруженный свинцовой защитой, размещался на расстоянии 2.67 м от мишени генератора внутри бетонной стенки толщиной 3 м. Для уменьшения потока нейтронов на стенку между ней и мишенью генератора размещался защитный цилиндр из железа диаметром 210 мм и толщиной 600 мм. В центре цилиндра имелся входной (первый) коллиматор, диаметр которого можно было устанавливать либо 12 либо 30 мм. Изменение диаметра этого коллиматора позволяло моделировать условия облучения фильтров, т.е. делать либо "узкий" пучок нейтронов, либо "широкий". В бетонной защите был установлен второй коллиматор из железа толщиной 480 мм с диаметром 30 мм, в который вставлялись исследуемые фильтры.

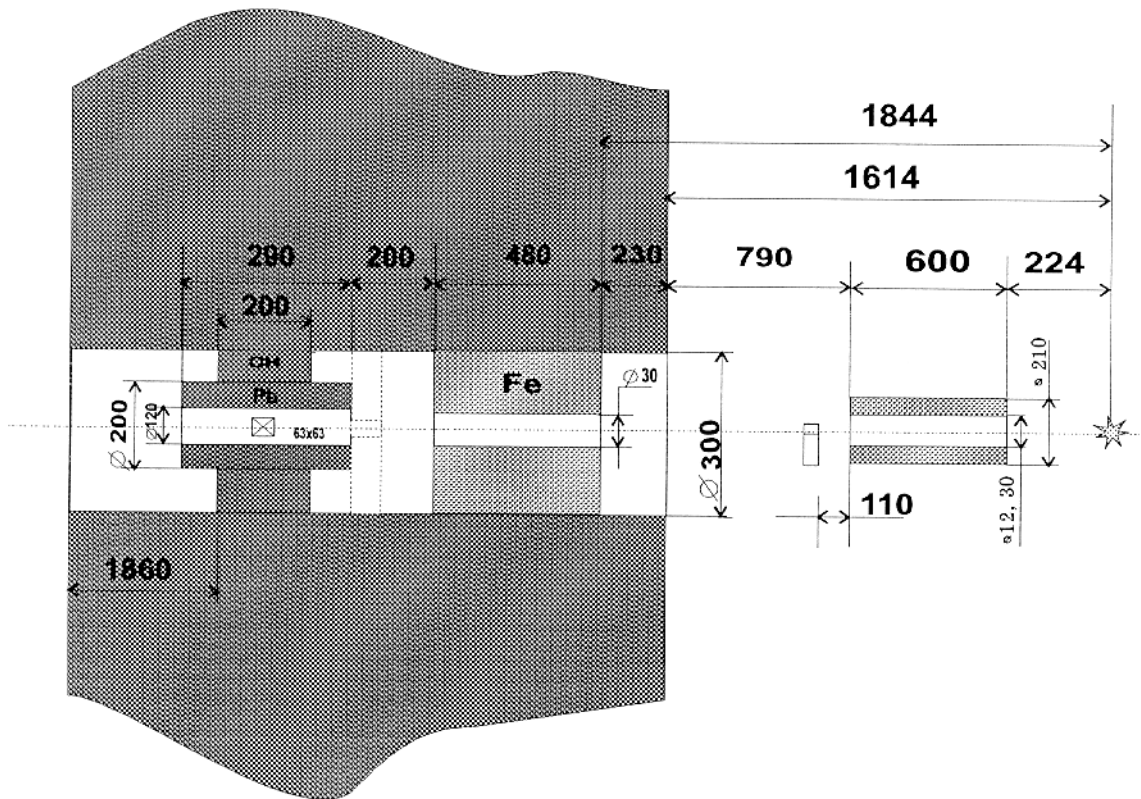
Между первым и вторым коллиматорами размещался монитор.

Коэффициент ослабления фильтра — это отношение числа зарегистрированных детектором нейтронов в измерениях без фильтра к числу зарегистрированных детектором нейтронов при перекрытии потока нейтронов фильтром при одинаковом флюенсе нейтронов на входе измерительной установки. Скорость счета нейтронного детектора имеет несколько составляющих: $I_{tot} = I_n + I_{\gamma G} + I_{\gamma C} + I_{\gamma B}$, где I_n , $I_{\gamma G}$, $I_{\gamma C}$, $I_{\gamma B}$ — интенсивности, обусловленные регистрацией нейтронов, гамма-квантов из мишени генератора, гамма-квантов из реакций захвата медленных нейтронов, естественного фонового гамма-излучения.

Для разделения вкладов применяют схемы дискриминации гамма-квантов и нейтронов по форме светового импульса, возникающего в сцинтилляторе. В данной работе для проведения измерений был использован сцинтилляционный нейтронный спектрометр на основе стибена, в котором использована система дискриминации формы импульса (ДФИ) с регулируемым порогом, управляющая блоком амплитудного анализа импульсов спектрометра. Пороги регистрации протонов отдачи устанавливались равными ~ 5 MeV для DT- и ~ 1 для DD-нейтронов.

Известно, что результаты нейтронных измерений зависят от геометрии эксперимента, в частности от диаметра нейтронного пучка, падающего на образец. В этой связи при проведении опытов предусматривалась проверка этого эффекта в экспериментах с "узким" и "широким" пучком. В экспериментах с узким (12 мм) и широким (30 мм) пучками нейтронов 14.8 MeV измерялись коэффициенты поглощения одиночных и двойного (Ф1 + Ф2) фильтров. С широким пучком нейтронов 2.8 MeV измерения проведены только с фильтром Ф1.

Обработка результатов измерений была идентична для всех случаев: для каждой серии измерений в режиме управления ДФИ определялось число зарегистрированных анализатором импульсов выше определенного порога, который для DT-нейтронов соответствовал 10, 12 и 13.5 MeV, а для DD-нейтронов — 2.0 и 2.4 MeV.



Геометрия экспериментов с ⁶LiH фильтрами на нейтронном генераторе НГ-150М.

Таблица 1. Коэффициенты ослабления DT-нейтронов с энергией 14.8 MeV

Порог для для нейтронов, MeV	Узкий пучок (ø 12 mm)				Широкий пучок (ø 30 mm)			
	Ф1	Ф2	Ф3	Ф1 + Ф2	Ф1	Ф2	Ф3	Ф1 + Ф2
10	30.6	30.6	29.6	820	28.4	29.2	28.7	580
12	29.7	28.9	29.9	810	27.0	27.8	27.4	660
13.5	28.6	26.2	32.5	790	22.9	24.6	24.1	1200

Коэффициент ослабления K определялся из следующего соотношения:

$$K = \frac{N_0}{\left(N_f - N_B \frac{t_f}{t_B}\right) - \left(N_{Fe} - N_B \frac{t_{Fe}}{t_B}\right) \frac{M_f}{M_{Fe}}} \frac{M_f}{M_0}$$

где N_0 , N_f , N_{Fe} , N_B — скорость счета детектора выше порога в экспериментах без фильтра, с ⁶LiH фильтром с Fe фильтром и фоновая скорость счета; M_0 , M_f , M_{Fe} — соответствующие показания монитора; t_f , t_{Fe} , t_B — время экспозиций.

В табл. 1 и 2 приведены результаты измерений коэффициентов ослабления K в экспериментах с DT- и DD-нейтронами. Погрешность определения коэффициента K в экспериментах с DT-нейтронами не превышает 5% в случае одного и 10–15% в случае двух фильтров при пороге регистрации 10 и 12 MeV. Погрешность в экспериментах с DD-нейтронами не превышает 10% для порога 2 MeV и 15% для порога 2.4 MeV. Величины

коэффициентов ослабления фильтрами Ф1, Ф2 и Ф3 в пределах погрешностей измерений совпадают, что свидетельствует о их равномерном заполнении поглотителем нейтронов.

Особый интерес для экспериментов на токамаке представляет оценка вклада захватных гамма-квантов $I_{\gamma C}$ из измерений с фильтром из железа. Оказалось, что в диапазоне энергий > 10 MeV вклад в амплитудное распределение гамма-квантов составляет 85–30%. Один из способов уменьшения вклада захватного гамма-излучения — дополнительная свинцовая защита детектора. Для про-

Таблица 2. Коэффициенты ослабления DD-нейтронов с энергией 2.8 MeV

Порог для протонов, MeV	Ф1, широкий пучок (ø 30 mm)
2	900
2.4	820

верки эффективности этого метода был проведен эксперимент с двумя фильтрами ($\Phi 1 + \Phi 2$) в геометрии "широкого пучка" *DT*-нейтронов, в котором использовалась дополнительная свинцовая защита детектора толщиной 100 mm, как показано на рисунке пунктиром. Амплитудные спектры, полученные в этом эксперименте показывают, что вклад захватных гамма-квантов в диапазоне энергий > 10 MeV составляет 30–10%. Таким образом, дополнительная защита детектора эффективна и весьма целесообразна в измерительных установках на токамаках, где потоки нейтронов превышают потоки гамма-излучения.