

области (при этом опираемся на известную теорему о том, что экстремум в замкнутой области достигается на смешанной кривой, составленной из отрезков экстремалей и отрезков границы области, причем в частных случаях длина отрезков экстремали или длина отрезков границы области может обращаться в нуль.

В нашем случае обращается в нуль длина отрезков экстремали (или, что то же самое, экстремалей в данном случае не существует). Это становится очевидным, если, выразив на основании первого уравнения связи (1) N через Q_J , записать функционал (3) в виде

$$W = \int_0^T \frac{Q_J + \frac{Q_J}{9,7}}{B} dt$$

и искать экстремаль $Q_J(t)$. Следовательно, минимальная кривая целиком проходит по границе области, где неравенства (4) или (5) превращаются в равенства.

В начальный момент остановки реактора оптимальным является режим $N = 0$. При этом растет содержание ксенона, но зато с наибольшей быстротой снижается потенциально опасное содержание пода. Когда содержание ксенона достигает предельно допустимого значения, оптимальный режим заключается в переходе от ограничения (5) к ограничению (4). Для этого нужно скачком поднять мощность реактора (см. рисунок), после чего содержание ксенона поддерживается постоянным, а мощность реактора снижается по экспоненциальному закону до тех пор, пока в момент времени T [соответствующий верхнему пределу интеграла (3)] она не станет равной нулю. В дальнейшем при сохранении значения $N = 0$ содержание ксенона будет уменьшаться.

Структура оптимального режима остановки показана на рисунке. Оптимальный режим обеспечивает наименьшую потерю энергии во время остановки.

Поступило в Редакцию 21/VIII 1963 г.

УДК 621.039.512.45

Исследование прохождения быстрых нейтронов через натрий

В. К. Даруга, А. Н. Николаев, Д. С. Пилипасик,
Б. И. Сеницын, С. Г. Цыбин

В настоящей работе были определены длины релаксации нейтронов с энергиями выше $0,5$ Мэв в натриевой призме размером $1360 \times 1370 \times 1860$ мм.

Измерения проводились на установке Б-2 реактора БР-5 [1]. Источником нейтронов служил хорошо коллимированный (расхождение 5°) пучок нейтронов из канала реактора. Для энергий больше 2 Мэв спектр нейтронов на выходе практически совпадает со спектром деления, а в нижней области он мягче последнего [2]. Исследуемая среда находилась в герметически закрытых стальных баках (каждый объемом 1 м³). Три таких бака помещали в экспериментальное устройство Б-2. В баках перпендикулярно к оси источника имелись вертикальные сквозные каналы для детекторов (рис. 1).

Измерения проводились с помощью детекторов, характеристики которых даны в табл. 1. Счетчик протонов отдачи имел характеристику, близкую к дозовой [3]. Дискриминация и усиление подбирались таки-

ми, чтобы при максимальной допустимой нагрузке на счетчик γ -фон составлял не более 1 имп./мин.

Индикаторы помещались в специальные гнезда в алюминиевых пробках на расстоянии 15 см друг

Таблица 1

Характеристики детекторов

Детектор	Эффективный порог, Мэв	Размеры (d×h), мм
$Al^{27}(n, \alpha)Na^{24}$	~7	35×3
$S^{32}(n, p)P^{32}$	~3	35×6
$Mg^{24}(n, p)Na^{24}$	~5	35×3
Счетчик протонов отдачи	~0,5*	18×40

* Энергетический порог.

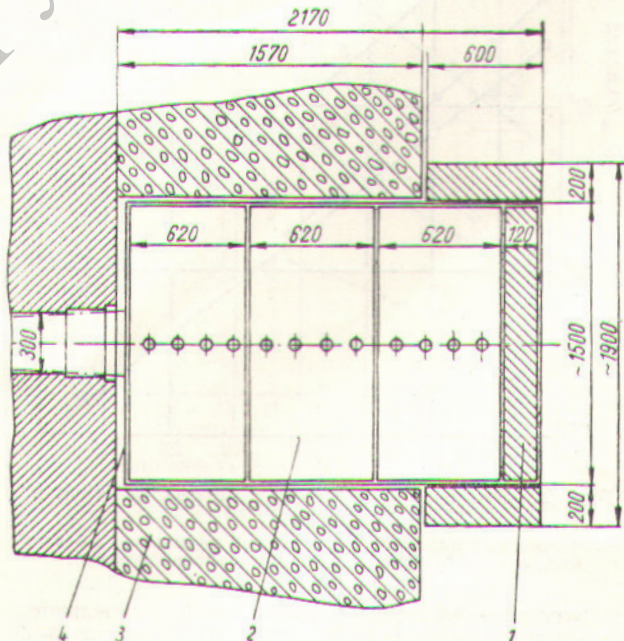


Рис. 1. Схема экспериментального устройства (вид сверху):

1—защита из железа; 2—экспериментальные баки; 3—бетонная защита реактора; 4—передняя стенка призмы.

от друга. Свободные от измерений каналы заглушались сплошными алюминиевыми пробками. Таким образом, при измерениях пустоты практически исключались, а возмущения, вносимые пробками, учитывались при обработке результатов.

Методика измерений была аналогична описанной ранее [1,2]. Мощность реактора выбиралась такой, чтобы исключить перегрузку детекторов в любой точке измерения. На основании результатов экспериментов определялось пространственное распределение нейтронов по r и h (расстояния от передней стенки призмы и от оси источника вниз соответственно) от мононаправленного дискового источника и строилась функция ослабления нейтронов для плоского бесконечного мононаправленного источника путем преобразования по формуле [4]:

$$G_{\Pi \infty}(r) = G \int_0^{\infty} G_{д. м}(r, h) h dh.$$

Результаты преобразований представлены на рис. 2. Вычисленные по этим данным длины релаксации нейтронов приведены в табл. 2.

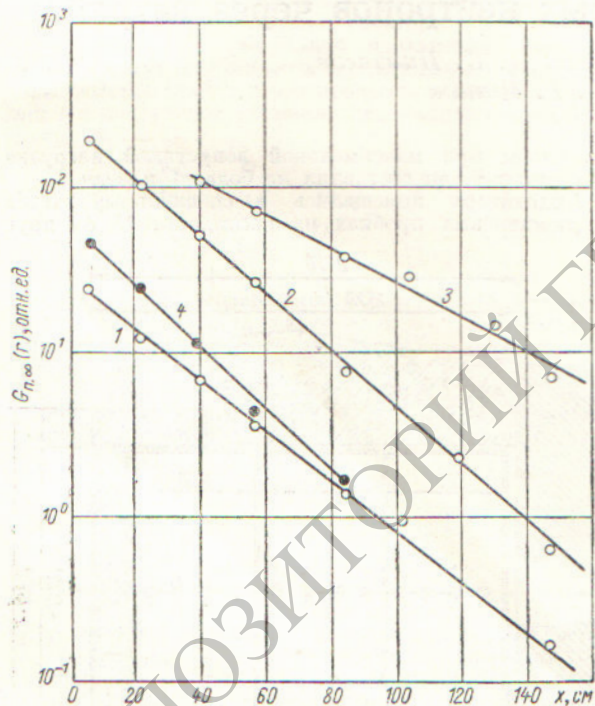


Рис. 2. Функция ослабления быстрых нейтронов в натрия:

1 — алюминиевый индикатор; 2 — серный индикатор; 3 — счетчик; 4 — магниевый индикатор (истинная кривая).

Суммарная экспериментальная ошибка отдельного измерения не превышала 5%. Значения функции $G_{д. м}$ были получены для $h=75$ см. Так как эта функция не достаточно резко убывает, то потребовалась экстраполяция до больших h . Экстраполяция проводилась по экспоненциальному закону. При этом в значения функции на конечном участке вносилась ошибка, составляющая 20—25 или 40—60% по абсолютной величине при малых или больших r соответственно.

Таблица 2
Значения длины релаксации нейтронов в зависимости от энергии

Детектор	Энергия нейтронов, Мэв	Длина релаксации, см
Алюминиевый	≥ 7	28 ± 3
Магниевый	≥ 5	26 ± 3
Серный	≥ 3	25 ± 3
Счетчик протонов отдачи	$> 0,5$	40 ± 4

для малых или больших r соответственно. Для учета влияния возмущений потока, вносимых детекторами и пробками, были проведены дополнительные эксперименты. Эффект нигде не превышал 20—25% от измеренной величины. При измерениях магниевыми индикаторами применялся магний невысокой чистоты. Поэтому для построения истинной интегральной кривой из активности детектора вычитался вклад активности примеси меди (см. рис. 2). С учетом всех перечисленных выше факторов суммарная ошибка в определении длин релаксации нейтронов в натрия составила 10—12%.

Как следует из данных табл. 2, в пределах ошибок эксперимента длины релаксации нейтронов с энергиями ≥ 3 Мэв практически совпадают (26 см). Следует отметить, что длина релаксации нейтронов с энергией выше 0,5 Мэв, полученная в результате измерений счетчиком протонов отдачи, составляет 40 см.

Необходимо отметить, что среднее значение величины, обратной длине релаксации для нейтронов с энергией ≥ 3 Мэв, удовлетворительно согласуется с макроскопическим сечением выведения для натрия [5].

Аналогичный эксперимент с натриевой призмой размером $150 \times 150 \times 200$ см в области промежуточных и тепловых нейтронов описан в работе [6]. Используя данные измерений, выполненных с марганцевым и натриевым индикаторами, а также расчет для камеры деления на U^{238} , можно путем пересчета к плоскому бесконечному мононаправленному источнику провести сравнение результатов обеих работ. Они оказываются в разумном согласии. Таким образом, имеются данные, характеризующие свойства натрия в области всех энергий нейтронов реактора.

Авторы благодарят Н. Н. Аристархова за содействие в подготовке эксперимента, а также М. Я. Кулаковского за полезное обсуждение результатов.

Поступило в Редакцию 3/II 1964 г.

ЛИТЕРАТУРА

- С. Г. Цыпин «Атомная энергия», 12, 300 (1962).
- В. П. Машкович, С. Г. Цыпин. Там же, 11, 251 (1961).
- C. Hurst, R. Ritchie. Rev. Scient. Instrum., 24, 664 (1953).
- А. В. Дулин и др. «Атомная энергия», 9, 315 (1960).
- R. MacDonald, H. Waism. Nucleonics, 20, No. 8, 158 (1962).
- A. Kania et al. Propagation a longue distance des flux de neutrons dans les piles rapides. Доклад № 36, представленный на Семинар по физике реакторов на быстрых и промежуточных нейтронах (Вена, 3—11 августа 1961 г.).