

ЗАМЕДЛЕНИЕ НЕЙТРОНОВ ДЕЛЕНИЯ В УРАН-ВОДНЫХ СРЕДАХ

Л. М. Барков, А. И. Венедиктов, К. Н. Мухин

В трех вариантах уран-водных решеток, составленных из толстых (35 мм) блоков естественного урана, заключенных в кадмиевые трубы, измерено пространственное распределение плотности резонансных нейтронов ($E=1,46$ эв), образующихся в результате замедления нейтронов деления U^{235} , испускаемых «точечным» источником. Показано отсутствие анизотропии в распределении замедлившихся нейтронов и определены значения τ .

Значительный интерес представляет задача экспериментального изучения замедления нейтронов деления в уран-водных средах, имеющих близкие характеристики к проектируемым реакторам.

В настоящей работе*) с помощью индиевого детектора измерено пространственное распределение плотности нейтронов с энергией 1,46 эв, образовавшихся в результате замедления нейтронов деления, испускаемых «точечным» источником, в уран-водных решетках. Решетки составлялись из блоков естественного урана диаметром 35 мм, заключенных в алюминиевую оболочку и помещенных в бак длиной 140 см, шириной 100 см и высотой 105 см. Источником нейтронов деления служила мишень—конвертор из окиси-заиси U^{235} (4,15 г урана). Пучок тепловых нейтронов подводился к конвертору с помощью стальной трубки длиной 50 см, которая вместе с конвертором закрывалась кадмиевым чехлом. Расстояние от конвертора до стенок бака и уровня воды было не меньше 50 см, а в направлении измерений составляло 90 см. Это давало возможность

проводить измерения вплоть до расстояний ~ 70 см. В работе была использована методика измерений, описанная в предыдущей статье [1]. Для предотвращения размножения на тепловых нейтронах урановые блоки были заключены в трубы, изготовленные из листового кадмия толщиной 0,6 мм. Трубы с блоками собирались в треугольную равностороннюю решетку с различными шагами: 4,3; 5,0 и 6,0 см, обеспечивающими изменение отношений объемов воды к урану в пределах от 0,4 до 2,0. Крепление труб осуществлялось при помощи трех листов с просверленными в них отверстиями для труб. Верхний и нижний листы, расположенные в непосредственной близости от концов труб, были сделаны из дуралюминия толщиной 6 мм; средний, расположенный на 20 см ниже конвертора, был изготовлен из плексигласа толщиной 8 мм. При выборе материала для среднего листа исходили из соображений о наибольшем сходстве с водой по замедляющим свойствам. Все три листа были скреплены между собой жестким дуралюминиевым каркасом. В верхнем листе было вырезано большое окно для введения в решетку кадмиевых кассет с индиевой фольгой. Для сохранения правильных расстояний между верхними концами труб, находящимися в пределах окна, между ними закладывались

*) Работа была выполнена на реакторе РФТ. Предварительные результаты доложены на Международной конференции по мирному использованию атомной энергии в Женеве в 1955 г.

небольшие секции вырезанной части дуралюминиевого листа.

На рис. 1 дана фотография решетки, на которой хорошо видно расположение труб (А), трубки (В), вводящей пучок, конвертора (В), кассеты с фольгой (Г), всех трех листов (D_1 , D_2 и D_3) и нескольких секций (Е), использующихся для крепления верхних

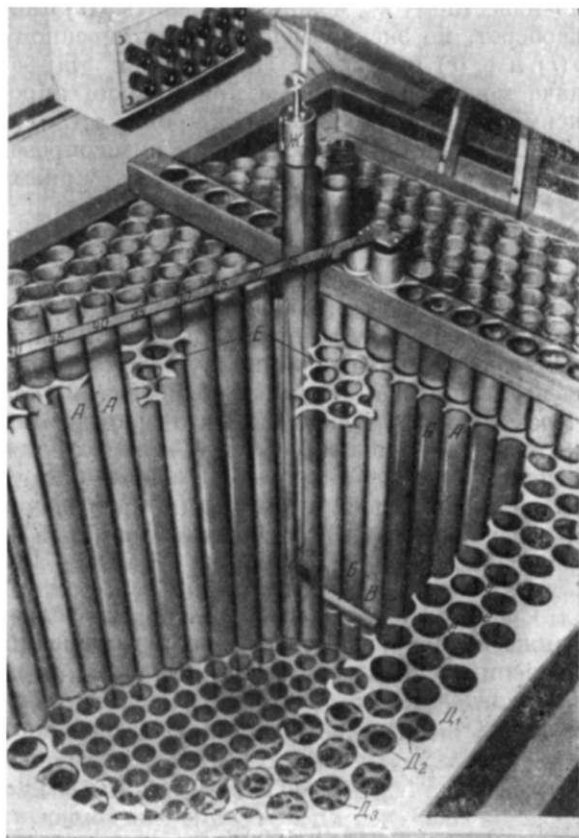


Рис. 1. Общий вид установки.

концов труб. Загрузка бака трубами производилась при помощи лебедки с тросом, оканчивающимся самозаклинивающимся патроном (Ж).

Для выяснения некоторых методических вопросов были проведены предварительные измерения с источником, имитирующим спектр нейтронов деления. Эти опыты показали следующее:

1) В горизонтальной плоскости, проходящей через источник, распределение плотности $\rho(r)$ замедлившихся нейтронов является

изотропным относительно направления на источник.

2) Распределение $\rho(r)$ в горизонтальной плоскости не меняется при помещении над источником в вертикальном положении кадмиевой трубы, заполненной воздухом (моделирование условий работы с пучком тепловых нейтронов).

3) Краевой эффект влияния не оказывает вплоть до расстояний от границы 5—10 см как в горизонтальной плоскости, так и по высоте.

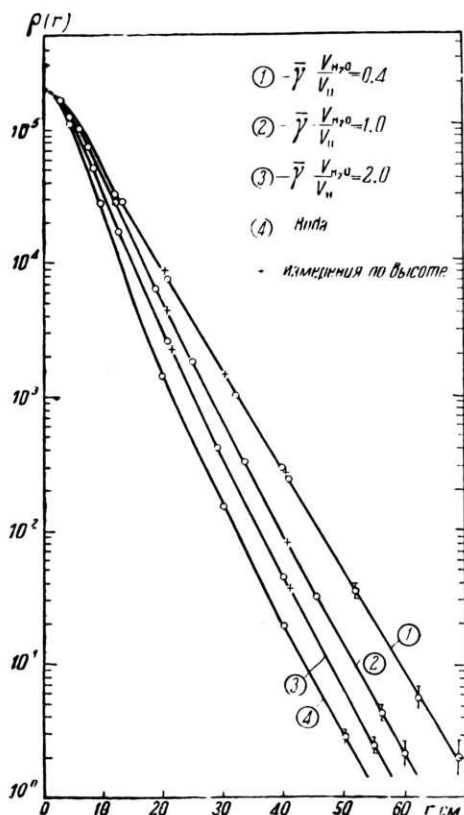


Рис. 2. Результаты измерений плотности распределения резонансных нейтронов для уран-водных решеток и воды.

Основные измерения были сделаны с конвертором для трех вариантов решеток, соответствующих следующим значениям отношения объема воды к объему урана: 0,4; 1,0 и 2,0 (шаги 4,3; 5,0 и 6,0 см). Результаты измерений приведены на рис. 2. Статистические ошибки экспериментальных точек указаны только для самых больших расстояний $r > 45$ см. Для расстояний $r < 45$ см статистические ошибки не превышают 2%.

При оценке (по формуле (3)) величины τ_0 использовался вычисленный коэффициент размножения на надкадмиевых нейтронах k_∞ , а $\rho_0(r)$, найденное из (2), представлялось в виде суммы трех гауссовых кривых.

Оценка коэффициента размножения системы была сделана по формуле $k = \nu \varphi \theta' \epsilon$, где ν — число нейтронов на один акт деления, φ — вероятность избежать резонансного захвата, ϵ — коэффициент размножения на быстрых нейтронах, θ' — вероятность деления надкадмиевыми нейтронами в процессе их замедления до поглощения в кадмии. Значение ν было взято из заметки, опубликованной в Nucleonics [2], ϵ — из работы Коутса и др. [3], φ — из результатов измерений М. Б. Егiazарова (частное сообщение).

Вычисление величины θ' производилось по формуле Гуревича — Померанчука [4], полученной авторами для оценки φ и видоизмененной для оценки вероятности деления надкадмиевыми нейтронами в процессе их замедления. Для этого в формуле были заменены концентрация ядер U^{238} на концентрацию ядер U^{235} , сечение захвата U^{238} на сечение деления U^{235} , опущен член, учитывающий вклад от сильных блокируемых резонансов, и введен коэффициент, учитывающий поглощение нейтронов кадмием.

В табл. 2 приведены полученные таким образом значения коэффициентов размножения k_∞ на надкадмиевых нейтронах. Точность использованных констант и формул позволяет считать, что погрешность в величине коэффициента размножения не превосходит 50%. В этой же таблице приведены значения τ для систем, в которых размножение на надкадмиевых нейтронах отсутствует. Соответствующие значения τ были получены из $\tau_{\text{эксп}}$ и k_∞ способом, описанным выше.

Таблица 2

Коэффициент размножения системы на надкадмиевых нейтронах и τ системы при отсутствии размножения на тепловых и надкадмиевых нейтронах

l в см	4,3	5,0	6,0	Вода без урана
$\gamma = V_{H_2O}/V_{\text{полн}}$	0,23	0,43	0,61	1
$\bar{\gamma} = V_{H_2O}/V_U$	0,4	1,0	2,0	—
k_∞	0,15	0,11	0,067	0
$\tau_{1,46 \text{ эв}}$ в см ²	58 ± 5	44 ± 3	35 ± 2	$29,4 \pm 1,5$

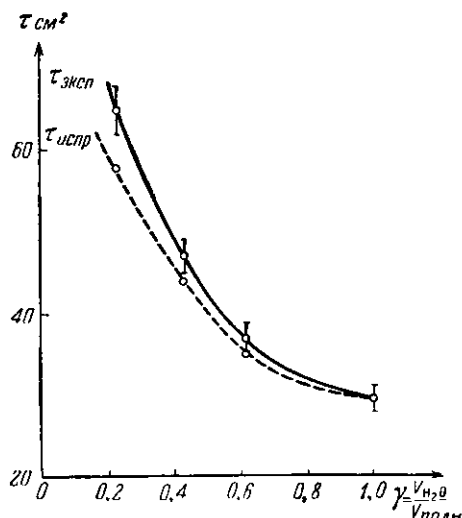


Рис. 3. Зависимость величины τ от относительного содержания воды в решетке $\gamma = V_{H_2O}/V_{\text{полн}}$. Сплошная кривая — экспериментальные значения τ ; пунктирная кривая — τ , исправленное на размножение нейтронов в решетке.

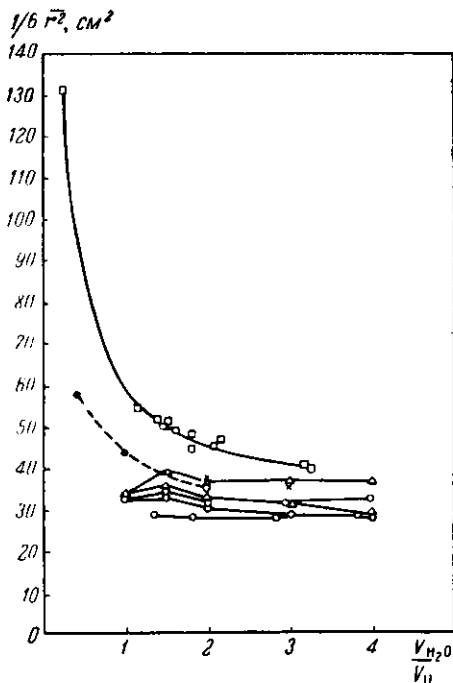


Рис. 4. Сравнение результатов различных работ по замедлению нейтронов в уран-водных решетках.

□ — прямые Оксидские эксперименты ($\tau_{0,025 \text{ эв}}$) [3]; Δ — Брукхейвенские эксперименты; метод искусственного «отравления» и «обогащения»; обработка по одногрупповой теории (M^2) [3]; ○ — Брукхейвенские эксперименты; метод «отравления» и «обогащения»; обработка по теории возраста (M^2) [3]; × — Вестингаузские опыты. Критические эксперименты. Обработка по одногрупповой теории (M^2) [3]; ● — результаты данной работы ($\tau_{1,46 \text{ эв}}$).

На рис. 3 представлена зависимость $\tau_{\text{эксп}}$ и τ от относительной доли объема решетки, занятого водой $\gamma = V_{\text{H}_2\text{O}}/V_{\text{полн}}$. Следует отметить, что найденные значения τ включают эффект от замедления нейтронов, возникших в блоках за счет деления U^{238} быстрыми нейтронами.

На рис. 4 приведены экспериментальные результаты различных работ по измерению $\tau_{1,46\text{эв}}$, $\tau_{0,025\text{эв}}$ и площади миграции M^2 .

При сравнении следует учесть, что M^2 больше $\tau_{0,025\text{эв}}$: $M^2 = \tau_{0,025\text{эв}} + L^2$ (L — диффузионная длина). Однако для уран-водных решеток L^2 значительно меньше $L_{\text{H}_2\text{O}}^2$ и равно $L^2 \approx L_{\text{H}_2\text{O}}^2 (1 - \theta) \sim 1 - 2 \text{ см}^2$.

Кроме того, при сравнении нужно иметь в виду, что значение $\tau_{1,46\text{эв}}$, полученное в настоящей работе, на $1 - 2 \text{ см}^2$ меньше $\tau_{0,025\text{эв}}$. Из сравнения величин $\tau_{1,46\text{эв}}$, $\tau_{0,025\text{эв}}$ и M^2 видно, что результаты измерений плохо согласуются между собой. Прямые измерения τ в Окриджской лаборатории, выполненные по методике, аналогичной нашей, дают существенно большие значения τ .

Так как подробности эксперимента не описаны, трудно выяснить причины такого

расхождения. В этих опытах не учтен эффект от размножения на надкадмиевых нейтронах. Однако, как показывают наши оценки, этот эффект не является большим. Расхождение с результатами определения M^2 , опубликованными в статье Коутса и др. [3], может быть частично объяснено тем, что в сравниваемых решетках используется разное количество плохо замедляющих конструктивных материалов.

Вызывает некоторое сомнение возможность точного определения M^2 из критических экспериментов и из опытов по искусственному «отравлению» и «обогащению» реакторов. При обработке этих опытов используется или однотрупповая теория, или теория возраста. Применимость этих теорий в случае воды сомнительна, а обработка одних и тех же экспериментальных результатов приводит к различным значениям M^2 .

В заключение авторы выражают благодарность профессору И. И. Гуревичу за обсуждение результатов настоящей работы и В. К. Макарьину, А. И. Малееву, В. И. Баранову и Б. В. Соколову, помогавшим при проведении измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. М. Барков, К. Н. Мухин, Атомная энергия, № 3, 31 (1956).
2. Nucleonics 8, № 1, 78 (1951).
3. H. Kouts, G. Price, K. Downes, R. Sher, Walsh, Экспериментальные реакторы и физика реакторов (Доклады иностранных ученых на Международной конференции по мирному использованию атомной энергии). Гостехиздат, 1955, стр. 417.
4. И. И. Гуревич, И. Я. Померанчук, Реакторостроение и теория реакторов (Доклады советской делегации на Международной конференции по мирному использованию атомной энергии). Изд. АН СССР, 1955, стр. 220.
5. S. Krasik, A. Radkowski, Атомная энергетика (Доклады иностранных ученых на Международной конференции по мирному использованию атомной энергии). Госэнергоиздат, 1956, стр. 375.