

## ОПЫТЫ С МЕДЛЕННЫМИ НЕЙТРОНАМИ

Изучая наведенную радиоактивность, вызываемую в веществе нейтронами, Ферми с сотрудниками установили, что для некоторых элементов интенсивность этой радиоактивности возрастает в 10—100 раз, если между источником нейтронов (эманация радия + бериллий) и элементом, в котором вызывается радиоактивность, помещать вещество с содержанием водорода (вода, парафин). При этом было установлено, что рассматриваемый эффект увеличения радиоактивности имеет место лишь для тех элементов, для которых вновь возникающий радиоактивный атом является изотопом исходного (захват нейтрона без испускания тяжелой частицы). Как было показано в более ранней работе тех же авторов,<sup>1</sup> такими веществами являются тяжелые элементы, например Ag, J, Au и ряд других.

Вышеописанный эффект был объяснен Ферми тем, что при прохождении через водород-содержащее вещество нейтроны теряют часть своей энергии и рассеиваются при упругих столкновениях с протонами. Возникающие медленные нейтроны, в отличие от быстрых, очень сильно поглощаются ядрами некоторых элементов, чем и вызывается большая наведенная радиоактивность, наблюдаемая в этих случаях.

В последующих работах ряда различных лабораторий было подтверждено наличие описанного Ферми эффекта (он был использован даже для изучения испускания нейтронов при облучении веществ  $\gamma$ -лучами). Однако все эти опыты дают пока еще недостаточно материала для полного освещения рассматриваемого эффекта.

В последней работе Весткота и Бьерджа<sup>2</sup> разобран вопрос о торможении нейтронов при прохождении их через воду. Хотя количественные данные этой работы имеют характер достаточно грубого приближения, качественные выводы ее заслуживают внимания. Эти авторы измеряли интенсивность наведенной нейтронами радиоактивности после их прохождения через различные слои воды. Наведенная радиоактивность наблюдалась в серебряном цилиндре длиной 4 см с диаметром в 3,5 см, который был разрезан на две части вдоль оси; при этом по одной линии разреза две половинки были укреплены на шарнирах. Это позволяло производить облучение серебряного цилиндра в раскрытом состоянии (внутренняя сторона), после чего цилиндр закрывался и надевался на тонкостенный цилиндрический счетчик Гейгера—Мюллера. Облучение цилиндра нейтронами производилось в течение одной минуты. Интенсивность наведенной радиоактивности измерялась числом отбросов счетчика в 1 мин. При этом измерения начинались через 10 сек. после окончания облучения серебра ней-

тронами. Это время требовалось для установления цилиндра около счетчика. Источник нейтронов (эманация радия + бериллий) помещался внутри цилиндра с водой, радиус которого постепенно увеличивался. Серебряный цилиндр помещался на фиксируемом расстоянии вне цилиндра с водой. Таким образом причиной радиоактивности серебра служили быстрые нейтроны, прошедшие через воду, и медленные нейтроны, выходящие из крайних слоев воды. Для зависимости интенсивности эффекта от радиуса цилиндра с водой получилась кривая с максимумом около 9 см. Подобный ход кривой можно объяснить постепенным нарастанием числа медленных нейтронов до равновесного распределения их с первичными нейтронами и постепенным спаданием интенсивности первичного нейтронного пучка по мере возрастания слоя воды. При этом подъем части кривой до максимума определяется поглощением медленных нейтронов, а спадание кривой после максимума — поглощением первичных нейтронов. Поэтому анализ этой кривой позволяет вывести некоторые заключения о поглощении быстрых и медленных нейтронов, а именно, определить приблизительно толщину слоя воды, необходимого для уменьшения числа нейтронов пучка в два раза. По данным авторов эта величина составляет около 1,5 см для медленных нейтронов и около 7 см для быстрых. Последнее значение, правда в недостаточно хороших условиях, было подтверждено непосредственным сравнением числа нейтронов после прохождения ими цилиндрического слоя воды радиусом в 6 см и в его отсутствии. В этом случае измерения числа нейтронов производились с помощью ионизационной камеры, наполненной гелием при 15 атм и соединенной с линейным усилителем. Пользуясь этими данными, авторы определяли эффективное сечение для соударения нейтрона с протоном, при котором происходит заметная потеря энергии нейтрона. Оно получилось равным  $1,5 \cdot 10^{-24}$  см<sup>2</sup>.

Помещая на пути нейтронов, прошедших через 6 см воды, различные слои парафина, авторы могли по величине наведенной радиоактивности в серебряном цилиндре, поставленном непосредственно за парафином, определить поглощение этих медленных нейтронов в парафине. Из этих данных они вычислили эффективное сечение для соударения медленного нейтрона с протоном. Для эффективного сечения получилось значение  $4 \cdot 10^{-23}$  см<sup>2</sup>, в 25 раз превосходящее значение для быстрых нейтронов. Это показывает, насколько чаще происходит взаимодействие с протонами у медленных нейтронов по сравнению с быстрыми.

Эффект замедления и рассеивания нейтронов при столкновении с протонами интересен еще и в том отношении, что здесь имеется значительная часть медленных нейтронов под очень большими углами (до 180°) к первоначальному направлению быстрых нейтронов. Это следует из опытов Гроссе и Агрусса<sup>3</sup>, которые показали, что активность серебряного цилиндра, вызываемая нейтронами от расположенного внутри его источника, возрастает не только при заполнении цилиндра водой, но и при заполнении водой пространства вне цилиндра. При этом в обоих случаях происходит приблизительно одно и то же увеличение активности серебра.

Весткот и Бьердж<sup>2</sup> подтвердили этот опыт. Они исследовали зависимость вызываемой нейтронами наведенной радиоактивности в серебряном цилиндре (источник: эманация радия + бериллий внутри цилиндра) от толщины слоя воды, окружающей этот цилиндр. Было установлено, что активность сильно возрастает с увеличением толщины слоя воды, достигая приблизительно постоянного значения для слоя в 3 см. При этом получается больше чем 10-кратное увеличение активности.

Из кривых зависимости активности вещества от толщины слоя воды, помещенной между ним и источником нейтронов, можно вычислить для толщины, для которых устанавливается равновесное распределение между быстрыми и медленными нейтронами, относительное число их и других. Отсюда по увеличению эффекта для данной толщины по сравнению со случаем отсутствия воды можно определить относительную вероятность для захватывания ядром быстрых и медленных нейтронов. Весткот и Бьердж проделали эти вычисления для кривых, полученных на серебре, и нашли,

что для серебра имеется приблизительно в 250 раз большая вероятность для захватывания ядром медленного нейтрона по сравнению с быстрым.

Факт сильного возрастания эффективного сечения ядер для столкновения с медленными нейтронами подтверждается более детальными измерениями Деннинга, Пеграма, Финка и Митчеля.<sup>4</sup> Эти авторы измеряли поглощение в различных веществах для медленных нейтронов, получающихся от парафиновой сферы радиусом 6 см, в центре которой помещался источник нейтронов (эманация радия + бериллий). Медленные нейтроны обнаруживались по тем ионизирующим частицам, которые они выбивали из слоя лития, помещенного у окошка ионизационной камеры, соединенной с усилителем. Для отделения быстрых нейтронов от медленных измерения производились один раз в присутствии слоя кадмия толщиной в 1 мм, другой раз без него. Таким образом поглощение находилось лишь для тех медленных нейтронов, которые вызывают разрушение лития и сильно поглощаются кадмием.

Приводимая таблица дает часть результатов авторов. Эффективные сечения для соударения нейтрона с ядром приведены в единицах  $10^{-24}$  см<sup>2</sup>. Данные для быстрых нейтронов заимствованы из предыдущей работы одного из авторов.

Хотя данные этой таблицы обладают небольшой точностью (по оценке самих авторов  $\pm 10\%$  для малых сечений и  $\pm 28\%$  для больших), они показывают, однако, с несомненностью, что для некоторых элементов, например Li, B, Ba, Hg, U поглощение нейтронов очень сильно возрастает при уменьшении их скорости.

Эффективное сечение нейтрон-ядро

	Медленные нейтроны	Быстрые нейтроны
H	13,3	1,68
C	3,4	1,71
Li	49	1,84
Be	3,8	1,65
B	600	1,60
C	2,8	1,65
Al	1,9	2,4
Fe	7,8	3,0
J	10,1	4,6
Ba	100	—
Hg	430	5,8
Pb	6,1	5,7
U	100	—

Данные для Li и B были получены еще ранее Чадвиком и Гольдгабером<sup>5</sup> с помощью ионизационной камеры. Они давали для эффективного сечения значение порядка  $10^{-21}$  см<sup>2</sup>, что по крайней мере для B совпадает с данными таблицы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Fermi, Amaldi d'Agostino, Rasetti, Segrè, Proc. Roy. Soc. **146**, 483, 1934.
2. Westcott a. Bjerger. Proc. Cam. Phil. Soc. **31**, 145, 1935.
3. Grosse a. Agruss, Phys. Rev. **47**, 91, 1935.
4. Dunning, Pegram, Fink, Mitchell. Phys. Rev. **47**, 416, 1935.
5. Chadwick a. Goldhaber, Nature **135**, 65, 1935.