

МЕТОД «СУХОГО» ТЕМПЕРАТУРНОГО ПРОЯВЛЕНИЯ И ВЫБОР ТИПА ЭМУЛЬСИИ ПРИ РАБОТЕ С БОЛЬШИМИ ДОЗАМИ ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ

Интенсивные пучки тепловых нейтронов из ядерных реакторов позволяют исследовать сравнительно редкие ядерные реакции и определять ничтожные количества некоторых элементов. Толстослойная эмульсия служит хорошим детектором возникающих при этом заряженных частиц. Можно указать следующие её применения: 1) количественное определение урана методом деления тепловыми нейтронами¹. Количество урана определяют по числу следов осколков деления в эмульсии; 2) количественное определение лития и бора по числу следов α -частиц из реакции n, α), протекающей при действии тепловых нейтронов на Li и $B^{2,3}$; 3) изучение реакций (n, α) или (n, p) с весьма малым эффективным сечением⁴, протекающих при действии тепловых нейтронов на средние и тяжёлые ядра.

Во всех указанных случаях приходится использовать большие дозы нейтронов порядка 10^{12} нейтрон/см². Вторичные процессы, связанные с та-

кими дозами, создают сильную вуаль (фон), затрудняющую наблюдение. Авторы реферируемой работы⁵ поставили своей целью разработать оптимальные условия облучения и проявления эмульсий, позволяющие различать и измерять следы осколков деления, α -частиц и протонов при минимальном фоне.

Авторы указывают на следующие источники фона из изолированных зёрен и следов, мешающих наблюдению. Быстрые нейтроны, всегда содержащиеся в пучке тепловых нейтронов, дают следы протонов отдачи, выбитых из атомов водорода желатины. γ -лучи, всегда сопровождающие тепловые нейтроны, освобождают вторичные электроны (фотоэлектроны, комптоновские электроны или электроны пар), которые дают следы или изолированные зёрна в зависимости от типа эмульсии. Атомы брома и серебра эмульсии захватывают тепловые нейтроны, превращаясь в радиоактивные изотопы, emitтирующие β - и γ -лучи, которые вуалируют эмульсию. Каждый захват сопровождается испусканием γ -фотонов с энергией между 4 и 8 Мэв, которые в свою очередь создают в эмульсии вторичные электроны. Большое количество протонов возникает при реакции $N^{14}(p, p)C^{14}$ на тепловых нейтронах. Наконец, материалы, окружающие эмульсию, под действием нейтронов или γ -лучей также испускают электроны, γ -лучи, протоны или α -частицы, создающие нежелательные следы или отдельные зёрна. Основной причиной, затрудняющей наблюдение, является фон от электронов различного происхождения; протоны, вибрируемые из азота, и протоны отдачи мешают гораздо меньше. Пока электроны создают изолированные следы или отдельные редкие зёрна, наблюдение следов осколков, α -частиц и протонов ещё возможно путём недопроявления зёрен, затронутых электронами. Однако при больших дозах каждое зерно затрагивается столь большим числом электронов, что избирательное проявление невозможно и сплошной электронный фон полностью исключает наблюдение отдельных следов. Грубые расчёты показывают, что 700 релятивистских электронов теряют на 1 μ эмульсии столько же энергии, сколько одна α -частица с энергией 5 Мэв.

В экспериментальной части работы авторы определяли минимальные дозы нейтронов, ещё позволяющие различать отдельные следы частиц. Для получения идеальных условий облучения эмульсию следовало бы поместить вне реактора в пучке нейтронов, рассеянных в боковом направлении парафином или графитом; это уменьшило бы воздействие γ -лучей и быстрых нейтронов, имеющих прямолинейную траекторию. Для устранения образования в эмульсии радиоактивного изотопа серебра пластинки следовало бы окружить серебряной фольгой, которая задерживала бы резонансные нейтроны. Далее необходимо защитить эмульсию от электронов, испускаемых этой серебряной фольгой, при помощи свинцовой фольги. Наконец, необходимо, чтобы после выполнения всех этих условий поток нейтронов оставался достаточно большим, чтобы время облучения было меньше 10 мин. (поскольку периоды полураспада радиоактивных изотопов брома в эмульсии равны 18 мин. и 4,4 часа). Источником нейтронов служил ядерный реактор в Шатильоне (Франция), работающий на тяжёлой воде, в которую погружены стержни из окиси урана. Этот котёл даёт слишком слабые потоки тепловых нейтронов, чтобы можно было создать указанные идеальные условия.

Опыты показали, что лучше всего помещать пластинки вблизи бака в графитовый отражатель, а действие γ -лучей ослаблять свинцом.

Пластинки в оболочке из чёрной бумаги или графита (такие оболочки дают минимальное количество вторичных электронов) помещались в свинцовый брусок размерами, равными размерам радиального канала реактора. Весь блок окружался графитом отражателя. Пластинки облучались 5–10 мин. в нейтронных потоках в различных местах реактора. Потоки измерялись при помощи активации детектора из марганца, рас-

положенного вблизи эмульсии. После облучения нейтронами эмульсии экспонировались α -частицами полония и немедленно проявлялись. В каждом опыте оценивались видимость следов α -частиц, плотность фона, обусловленного β - и γ -лучами, и плотность следов протонов отдачи для различных эмульсий и различных проявителей. Получены следующие результаты.

Для получения минимального фона следует использовать эмульсию минимальной толщины, совместимую с поставленной задачей. Отсюда вытекает преимущество метода твёрдых мишеней в контакте с эмульсией перед методами пропитки, требующими увеличения толщины эмульсии при желании повысить число исследуемых ядер. Следует использовать эмульсии с минимальной чувствительностью к электронам, т. е. мелкозернистые эмульсии. В этом отношении эмульсии типа Илфорд D1 и E1 лучше C2. Однако при дозах выше 10^{11} нейтрон/см² число изолированных зёрен фона столь велико, что даже в эмульсиях D1 и E1 видимость следов α -частиц весьма низка. В этом случае эмульсии C2 дают более плотные следы α -частиц и облегчают различение α -частиц и протонов.

Оптимальные условия проявления зависят от дозы нейтронов, полученной эмульсией. Использование дозы меньше 10^9 нейтрон/см² не связано с какими-либо трудностями. До доз 10^8 нейтрон/см² можно применять эмульсию G5 толщиной 200 μ . Между 10^8 и $5 \cdot 10^8$ нейтрон/см² толщина должна быть около 100 μ и между $5 \cdot 10^8$ и 10^9 — около 50 μ .

Для дозы больше 10^9 нейтрон/см² эмульсия G5 непригодна. В области 10^9 — 10^{11} нейтрон/см² можно использовать эмульсии C2, E1, D1 толщиной до 200 μ , применяя метод избирательного недопроявления⁶.

В области от 10^{11} до $3 \cdot 10^{12}$ нейтрон/см² удалось получить чёткие следы α -частиц, хорошо отличимые от протонов, в эмульсии C2, толщиной 50 μ , достаточно прозрачной для удобного наблюдения. Для этого был разработан метод энергичного поверхностного проявления. Наилучшим из четырёх проявителей (ID-19, амидоловый⁷, глициновый и гидрохиноновый) оказался чисто гидрохиноновый проявитель состава: раствор А: K_2CO_3 — 50 г, Na_2SO_3 — 10 г, 10%-ный KBr — 5 см³, вода — до 500 см³; раствор Б: гидрохинон — 0,5 г, вода — до 500 см³; для работы смешивают равные объёмы А и Б. Оптимальный режим проявления этим раствором: немедленно после облучения пластинка переносится на 30 мин. в холодную камеру при 3°С. Затем она погружается в тёплый (30°С) проявитель на 5 мин. Контраст следов ещё более повышается при увеличении разности температур, например при переходе от твёрдой углекислоты к 38°С. Однако такой режим опасен ввиду возможной ретикуляции желатины.

Весьма интересно, что в новом методе проявления авторы реферируемой работы заменили холодную стадию пропитки проявителем по известному методу «температурного проявления»⁸ на «сухую» холодную стадию, сохранив «тепловой удар» при переносе пластинки в тёплый проявитель и достигнув этим чисто поверхностного проявления.

А. Х.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. I. Curie, H. Faraggi, Comptes. Rendus **232**, 959 (1951); сборник «Радиография», ИЛ, 1952.
2. A. Ficq, Comptes Rendus **233**, 1684 (1951).
3. M. Hillert, Nature **168**, 39 (1951); сборник «Радиография», ИЛ, 1952.
4. H. Faraggi, Ann. Physique, **6**, 325 (1951).

5. H. Faraggi, A. Bonnet, M. Cohen, J. phys et rad. 13, suppl. № 7—9, 105 A (1952).
 6. Teledgi, Zunti, Helv. Phys. Acta 23, 745 (1950).
 7. C. Dilworth, G. Occhialini, L. Vermaesen, Bull. Centre Phys. Nucl., Bruxelles, № 13a, февр. 1950.
 8. C. Dilworth, G. Occhialini, L. Vermaesen, Fundamental mechanisms of phot. sensitivity. London, 1951, стр. 297.
-