

Некоторые аспекты методики идентификации делящихся веществ на удаленных объектах с использованием ускоренного пучка ионов водорода

М.Ф. Ворогушин, Ю.Н. Гавриш

НИИ электрофизической аппаратуры им. Д.В. Ефремова

Научно-производственный комплекс "ЛУЦ", Санкт-Петербург, Россия

В последнее время в практической деятельности широко применяются методы неразрушающего дистанционного контроля элементного состава с использованием ускоренных пучков ионов путем регистрации характеристического вторичного ионизирующего излучения. Особую актуальность они приобрели для анализа содержания делящихся веществ на удаленных объектах [1]. Создание средств активного дистанционного определения делящихся веществ с использованием ускорителей ионов водорода охватывает три основных направления: исследование процессов воздействия пучков ионов водорода на объекты различной конструкции, накопление данных по фоновому излучению, разработка соответствующей детектирующей аппаратуры. На основе анализа различных концепций дистанционного распознавания делящихся веществ, с помощью ускоренных пучков, американские эксперты выбрали ряд наиболее перспективных, основанных на регистрации вторичных нейтронного и гамма-излучений [2].

В данной работе рассмотрены некоторые вопросы методики дистанционного определения делящихся веществ (ДВ) с использованием ускорителей ионов водорода по временным спектрам нейтронного излучения. Из проведенных расчетов энергетического распределения нейтронного излучения из мишеней полного поглощения сложного гетерогенного состава при энергии ускоренных протонов и дейтронов в диапазоне 15-100 МэВ, анализа выходов нейтронного излучения из реакций деления под действием нейтронов из ядерных реакций типа (p, nX) и (d, nX) и временных спектров нейтронного излучения в зависимости от энергии ионов водорода, расстояния ускоритель — исследуемый объект — детектирующая система, для идентификации ДВ, находящихся на исследуемом объекте, расположенном на значительном расстоянии, требуется измерение временных спектров нейтронного излучения.

В работах [3-4] показано, что выходы нейтронов из материалов с небольшим атомным весом при средних энергиях ускоренных ионов водорода ($E \approx 10-30$ МэВ) варьируются в малых пределах. Изменение выхода нейтронов более чем на порядок при фиксированном расстоянии от исследуемого объекта может однозначно указывать на наличие делящегося вещества. Следовательно, основной задачей корректного определения наличия ДВ на удаленной мишени является определение выхода нейтронного потока во времени.

Наиболее эффективный метод, позволяющий решить данную задачу, — метод синхронного детектора [5]. Данный метод в отличие от обычных интегральных измерений позволяет получить полезную информацию даже в условиях большого сопутствующего фона. Исходя из этого, предлагается следующая схема эксперимента. Исследуемый объект облучается импульсным ускоренным пучком ионов водорода (протонов,

дейтронов) с энергией 15-25 МэВ. Длительность импульса должна быть порядка 10-100 мкс. Известно, что при взаимодействии ускоренного пучка ионов водорода с материалом оболочки, образуется нейтронное излучение, угловое распределение которого имеет максимальный выход в область малых углов.

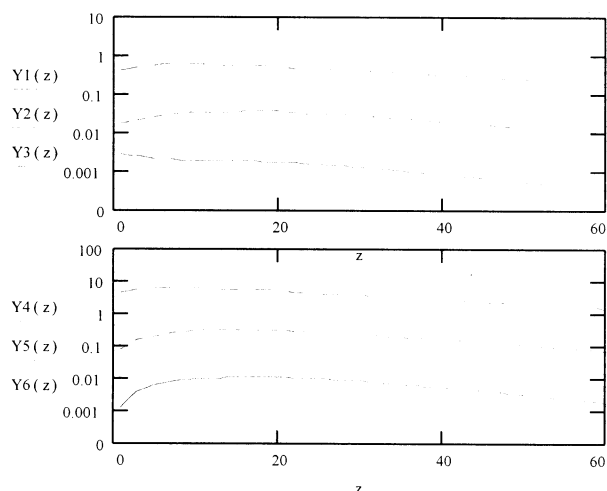


Рис. 1: Кривые зависимости выхода нейтронов из мишеней полного поглощения под действием ускоренного протонного пучка с энергией 20 МэВ ($Y1(z)$ и $Y4(z)$); 40 МэВ ($Y2(z)$ и $Y5(z)$); 80 МэВ ($Y3(z)$ и $Y6(z)$) для углов 0° (нижний график) и 180° (верхний график) в зависимости от заряда ядра мишени. Расчет проводился на один падающий протон.

При расположении детектирующей системы в непосредственной близости от ускорителя, т.е. на одной платформе, в случае отсутствия ДВ на исследуемом объекте будет регистрироваться минимальный поток нейтронов (p, nX) или (d, nX) из оболочки под углом π , при наличии ДВ добавляются нейтроны спектра деления. Их временное распределение определяется в основном расстоянием ускоритель — исследуемый объект. Для уменьшения радиационного фона целесообразно проводить регистрацию нейтронного излучения согласно временной диаграмме, приведенной на рис. 2.

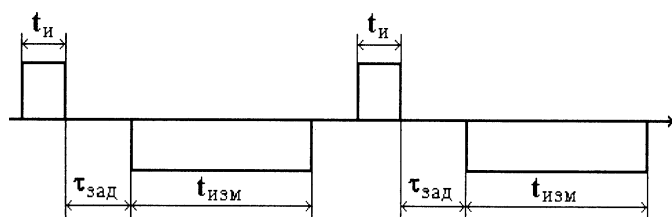


Рис. 2: Временная диаграмма измерений: $t_и$ — длительность токового импульса ускорителя; $t_{зад}$ — время задержки; $t_{изм}$ — время измерения.

Время задержки $t_{зад}$ определяется временем пролета самых высокоэнергетичных нейтронов, образующихся в реакциях деления и (p, nX); время измерения $t_{изм}$ определяется временем пролета самых низкоэнергетичных нейтронов (энергия которых определяется порогом регистрации детектирующей системы).

Метод синхронного детектора предусматривает поканальное сложение временных спектров, измеренных за несколько промежутков времени. Импульсный режим работы ускорителя позволяет в полной мере реализовать достоинства данного метода: при каждом сложении полезный сигнал увеличивается в n раз, а фон растет в \sqrt{n} (где n — это число циклов).

Для увеличения быстродействия детектирующей системы целесообразно ее выполнить в виде “мозаики”, т.е. набора детекторов, имеющих небольшую чувствительную поверхность. Это объясняется техническими трудностями в создании быстрых усилителей и дискриминаторов по форме импульсов для подавления гамма-фона (естественный гамма-фон и фон, обусловленный взаимодействием нейтронов с материалом сцинтиллятора). Каждый детектор снабжен своим усилителем и дискриминатором. Предварительно обработанный сигнал поступает на сумматор и далее на временной анализатор (ВА). Запуск ВА осуществляется блоком временной задержки (БВЗ). В БВЗ формируется импульс задержки $t_{\text{зад}}$, передний фронт которого совпадает с задним фронтом токового импульса ускорителя, а его длительность определяется расстоянием ускоритель – исследуемый объект.

Информация о расстоянии ускоритель – исследуемый объект R может быть получена из блока дальномера. Импульс длительности t_n также вырабатывается в БВЗ. Число циклов измерений определяется числом токовых импульсов ускорителя, т.е. временем работы ускорителя.

Реализация измерения временных спектров нейтронов по данной схеме позволит:

- практически полностью исключить радиационный фон ускорителя на измеряемые временные спектры исследуемого нейтронного излучения;
- существенно снизить вклад фона окружающей среды в процессе измерений;
- существенно повысить достоверность получаемой информации.

Для измерения временного распределения плотности потока нейтронов в малые интервалы времени и энергетическом диапазоне от нескольких десятков кэВ до нескольких десятков МэВ детектирующая система (ДС) должна отвечать следующим основным требованиям:

- В связи с большим расстоянием от объекта исследований уровень регистрируемого сигнала будет низким, следовательно, чувствительная поверхность ДС (не менее 1 м^3) и эффективность регистрации нейтронного потока в указанном диапазоне должны быть достаточно большими, чтобы получить статистический материал для проведения надежной идентификации веществ.
- Так как время измерений будет мало из-за ограничений к потоку первичного излучения (зондирующий пучок не должен нанести радиационных повреждений в облучаемый объект) ДС должна иметь высокое временное разрешение.
- В связи с тем, что измерения будут проводиться в условиях большого гамма-фона, ДС должна обладать избирательной чувствительностью к нейтронному потоку.
- Массо-габаритные размеры ДС должны быть минимизированы.

На основании анализа современных детектирующих систем нейтронного излучения можно сделать следующие выводы:

- В качестве детекторов наиболее эффективны твердотельные органические сцинтилляторы, которые позволяют производить измерения энергии нейтронов в широком энергетическом диапазоне.
- Эффективность сцинтилляционного детектора существенно выше эффективности любого другого; при этом он не уступает и в отношении энергетического разрешения.

В качестве аналогов систем измерения временных характеристик нейтронного излучения могут служить экспериментальный прибор из состава космической гамма-обсерватории, которая была выведена на орбиту в 1990 г. кораблем многоразового пользования “Спейс-Шатл”, а также советская система по сближению спутников в космическом пространстве [6].

Заключение

Из результатов расчетов временного распределения нейтронов из ядерных реакций типа (p, nX) (d, nX) для удаленных мишеней, содержащих делящееся вещество, можно сделать следующие выводы:

- Предложенная методика может быть использована для определения делящегося вещества в удаленной мишени.
- Для регистрации временных характеристик нейтронного излучения может быть создана высокоэффективная малогабаритная детектирующая система.
- На основе существующих прототипов ускорителей ионов водорода [7] возможно создание установки пригодной для реализации данной цели.

Список литературы

- [1] Данилов М.М., Катаржанов Ю.Д., Кувшин В.В., Недопекин В.Г., Плотников С.В., Рогов В.И., Чувило И.В. Эксперименты для разработки метода дистанционной идентификации делящихся и других веществ. // Атомная энергия, 1994, т. 77, вып. 6, с. 424.
- [2] Павлов В.А. История и перспективы развития в США ускорительной техники в целях создания космического оружия на пучках нейтральных частиц. // Атомная наука и техника за рубежом, 1995, т. 2, с. 17-27.
- [3] Даруга В.К. и др. Нейтроны из толстых мишеней, бомбардируемых протонами с энергией 11,3 МэВ. Препринт ФЭИ-222, Обнинск.
- [4] Даруга В.К. Характеристики вторичного нейтронного излучения из толстых мишеней, бомбардируемых заряженными частицами с энергиями в области 10-50 МэВ. Автореферат дис. на соискание уч. ст. канд. тех. наук, Дубна, 1971.
- [5] К.Хоровец. Искусство схемотехники. – М.: Мир, 1987.
- [6] Веретенников А.И. Методы исследования импульсных излучений. — М.: Энергоатомиздат, 1985.
- [7] O’Shea P.G. et al. A linear accelerator in space — the Deam Experiments Aboard a Rocket. Proceeding of the 1990 Linear Accelerators Conference, September 10-14, 1990, Albuquerque, p. 739.