

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИЗУЧЕНИЮ МНОГОЧАСТИЧНЫХ ФОТОЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

К.А. Стопани, С.Ю. Трощев

Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ

Multi-particle photonuclear reactions are an important source of information about nuclear structure. Gamma-activation analysis is being used to study these processes at SINP MSU. A software package for processing experimental data from HPGe detector has been developed. The program uses Monte-Carlo method to simulate main stages of the experiment and presents results on a graphical interface.

Фотоядерные реакции с выбиванием нескольких нейтронов (γ, xn) позволяют исследовать атомные ядра, сильно перегруженные протонами. Использование тормозных пучков фотонов с энергией до 70 МэВ позволяет исследовать ядра, образующиеся в реакциях вплоть до ($\gamma, 7n$). На сегодняшний день многочастичные фотоядерные реакции (МФНР) представляют собой практически не исследованную область. МФНР вызываются фотонами с энергиями, превышающими энергию максимума гигантского дипольного резонанса. Их сечения имеют вид достаточно широких резонансных кривых, лежащих на «хвосте» гигантского дипольного резонанса (см. рис. 1), и не измерены для большинства ядер.

В последнее время благодаря появлению высокоэффективных гамма-спектрометров и созданию ускорителей нового поколения, обеспечивающих интенсивные монохроматические потоки электронов, появилась возможность более детального исследования радиоактивных ядер, удаленных от полосы бета-стабильности. Изучение свойств этой группы ядер не только представляет важность для фундаментальной науки, но и имеет прикладной аспект — решение проблемы разрушения долгоживущих продуктов радиоактивных отходов, образующихся при работе ядерных реакторов.

Сечения МФНР быстро падают с увеличением числа вылетевших нуклонов, поэтому для исследования МФНР с вылетом до 5-6 нуклонов требуется наличие интенсивных пучков фотонов с энергиями до 70 МэВ и использование эффективных методов выделения определенного канала реакции. Оптимальным для исследования МФНР в настоящее время представляется гамма-активационный (ГА) метод, т. е. метод, в котором анализируется γ -радиоактивность, наведенная в исследуемой мишени пучком фотонов.

В НИИЯФ МГУ была создана установка для проведения гамма-активационного исследования. Мишень из исследуемых ядер облучается в потоке гамма-квантов, генерируемых тормозной мишенью, бомбардируемой потоком монохроматических электронов от ускорителя (см. рис. 2). Источником монохроматического потока электронов служит импульсный разрезной микротрон RTM-70. После окончания облучения мишень

перемещается в гамма-спектрометр из сверхчистого германия (HPGe). Измеренный спектр γ -квантов, излучаемых мишенью, позволяет определить какие ядра и с какой вероятностью образовались в мишени при облучении тормозными фотонами.

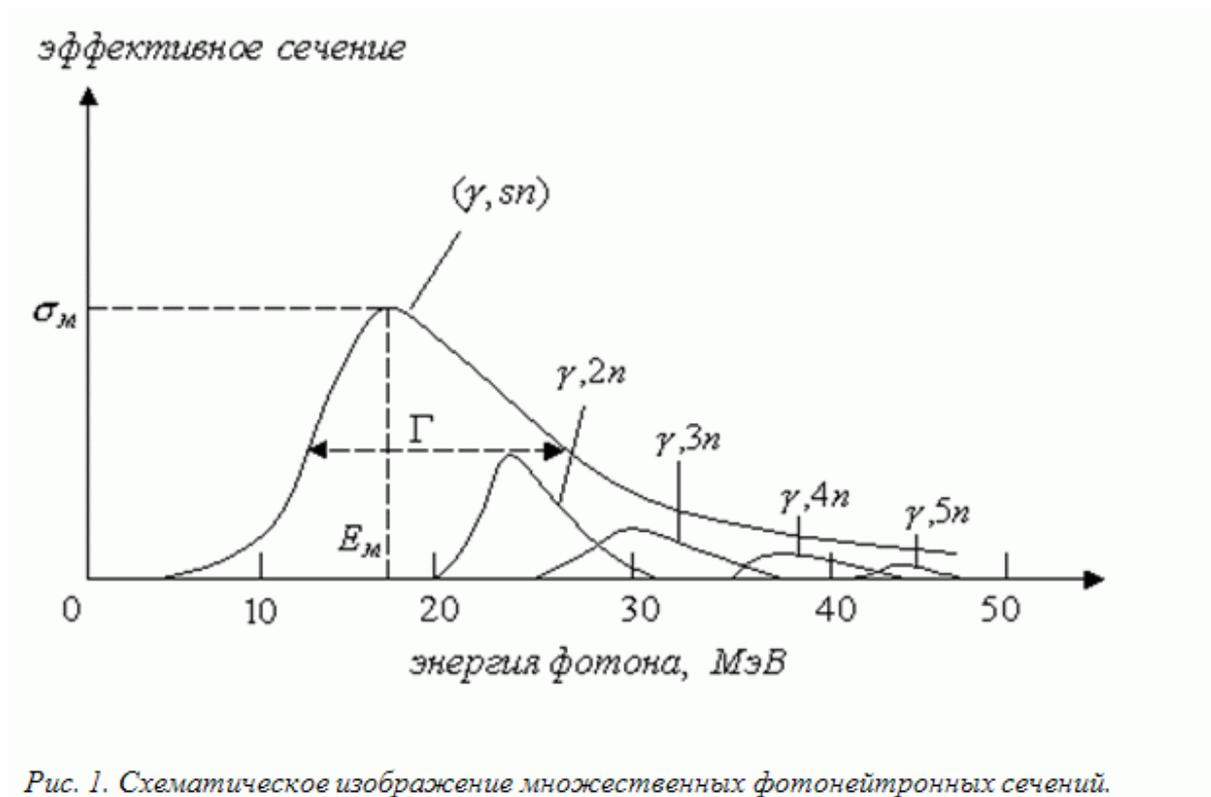


Рис. 1. Схематическое изображение множественных фотонейтронных сечений.

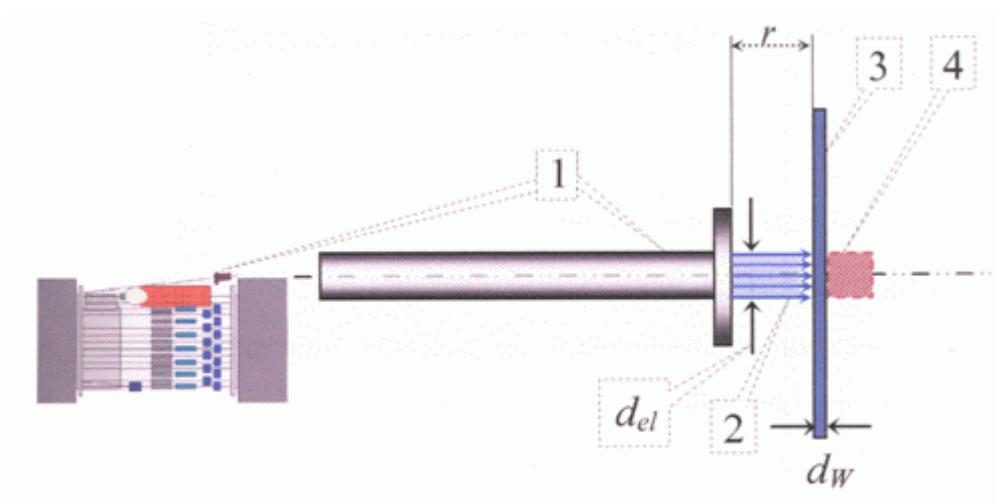


Рис. 2. 1 - ускоритель, 2 - пучок электронов, 3 - тормозная мишень, 4 - исследуемый образец.

Для измерения спектра наведенной γ -активности используется детектор из сверхчистого германия (HPGe).

Непосредственным результатом эксперимента является спектр регистрируемых детектором гамма-квантов. Этот спектр складывается из откликов детектора на распады всех радиоактивных ядер в образце и фон в помещении. За счет электромагнитного взаимодействия регистрируемых

гамма-квантов с веществом детектора каждая линия распада вызывает отклик в широком диапазоне энергий. Необходимо учитывать, что радиоактивные изотопы, образующиеся непосредственно во время облучения, могут распадаться на другие радиоактивные изотопы, которые, в свою очередь, так же распадаются, в результате чего от распада каждого нестабильного ядра, образовавшегося при активации, к спектру будут добавляться несколько линий. Все это делает процесс анализа экспериментальных результатов достаточно длительным и трудоемким.

В связи со сложностью обработки получаемых с детектора данных было принято решение написать программу, моделирующую основные стадии ГА-эксперимента: попадание пучка электронов с ускорителя на тормозную мишень, облучение образца тормозными гамма-квантами, процесс накопления и распада нестабильных изотопов в образце и измерение спектра распадов на HPGe детекторе. Программа должна иметь удобный графический пользовательский интерфейс, высокую скорость работы и предусматривать возможность работы на компьютерах под управлением различных операционных системах (Windows, Linux).

Процесс моделирования ГА эксперимента состоит из трех основных шагов: моделирование активации образца тормозными гамма-квантами, моделирование процессов накопления и распада изотопов в образце и моделирование измерения спектра распадов нестабильных ядер в образце детектором. Все три шага осуществляются автоматически в рамках одной программы.

Для выполнения первого шага – «активации» – создана модель облучаемой системы, состоящей из тормозной мишени, на которую падает пучок электронов, и изучаемого образца, облучаемого тормозными гамма-квантами. Моделирование выполнено при помощи пакета библиотек GEANT4 и при необходимости автоматически запускается с требуемыми параметрами из графического интерфейса. Затем полученный спектр тормозных гамма-квантов умножается на модельные сечения МФНР на изотопах образца и интегрируется, что дает значения выходов новых изотопов, получаемых выбиванием нуклонов из изотопов образца.

Второй шаг – «накопление и распад» – предусматривает моделирование процесса накопления и распада изотопов во время облучения и измерения с использованием полученных в первом шаге значений выходов и периодов полураспада, которые возможно считывать из какой-либо интернет базы данных или при необходимости задавать вручную. Учитываются последовательные распады образующихся изотопов, чтобы результатом данного шага стала исчерпывающая информация о количестве различных ядер в образце в любой момент из рассматриваемого временного промежутка.

Третий шаг – «детектирование» – включает в себя создание при помощи GEANT4 модели HPGe детектора, используемого в ГА эксперименте для измерения спектра распадов в образце после его активации. Основная задача на этом шаге – создание на основе данных о количестве ядер в любой момент времени (следовательно, и о количестве распадов за любой временной

промежуток) графика, полностью моделирующего спектр, измеряемый детектором. Этот шаг осложнен отсутствием точной информации о внутреннем устройстве детектора.

Графический интерфейс программы предусматривает возможность задавать и полностью контролировать все параметры модели, использовать внешние базы данных, сохранять результаты моделирования в стандартных графических файлах и таблицах, а также сравнивать модельный спектр с измеренным в ходе эксперимента.