

Отзыв

официального оппонента на диссертацию М.И. Свирина «Особенности спектров мгновенных нейтронов деления актинидных ядер», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

Диссертация М.И. Свирина посвящена изучению спектров мгновенных нейтронов деления актинидных ядер. Энергетическое распределение нейтронов при делении ядер играет большую роль в расчетах цепной реакции деления. Современные представления о процессе деления, являющиеся научным фундаментом атомной энергетики, несмотря на интенсивные исследования в течение многих десятилетий еще весьма далеки от полноты. В целом за это время сложилась качественная картина этого процесса, однако в нем остается много нерешенных задач. Количественное описание характеристик деления ядер с ростом энергии бомбардирующих нейтронов, когда становится возможным испускание все большего числа предделительных нейтронов, значительно усложняется. Таким эмиссионным и многошансовым процесс деления тяжелых ядер является уже в традиционной для реакторостроения области энергий до 15 МэВ. Анализ шансового строения энергетической зависимости сечения деления важен как с практической так и научной точек зрения. Спектры предделительных нейтронов, испускаемых в реакциях $(n, x\eta f)$ до деления, и постделительных нейтронов из полностью ускоренных возбужденных осколков деления различаются значительно. Не зная как разделить полное сечение на отдельные шансы, нельзя правильно задать энергетическое распределение источника в цепной реакции деления и провести корректный анализ изучаемых характеристик при эмиссионном процессе деления.

Наиболее существенные пробелы в физике деления сконцентрированы на его решающей стадии, – спуске с вершины барьера к точке разрыва, где процесс становится необратимым и происходит окончательное формирование свойств образующихся осколков. Определяющим в этом механизме фактором является связь между коллективными и внутренними степенями свободы, модельное описание которой представляет весьма сложную задачу. Поэтому и возможности теории деления пока ограничены крайними случаями – сильной и слабой связи (статистическая и динамическая модели). Например, статистическая модель в ее обычной форме не учитывает возможность эмиссии частиц за время перехода ядра от седловой к разрывной конфигурации. Принято считать, что это время является настолько коротким, что не может быть испущено сколь-нибудь значительное число частиц. Эта возможность просто игнорируется. В поле зрения диссертанта оказались экспериментальные исследования спектров мгновенных нейтронов деления актинидных ядер под действием нейтронов с энергиями E_n до 20 МэВ. Сравнение с расчетами по статистической теории в рамках традиционной модели двух источников нейтронов (предделительных и постделительных) показало, что имеется избыток мягких нейтронов спектра вторичных нейтронов, измеренных при энергиях первичных нейтронов $E_n > 13$ МэВ. Это может указывать на возможную эмиссию нейтронов при переходе ядра от седловой конфигурации к разрывной. В диссертации использован феноменологический подход для объяснения мягких нейтронов. В модельный расчет был включен третий источник, связанный с

эмиссией мягких нейтронов из возбужденных сформировавшихся осколков до их разделения (неускоренные осколки). Это позволило согласовать расчетные спектры с результатами эксперимента. Трудность физического обоснования долгоживущей двуядерной системы осколков очевидна, тем не менее, в рамках такой феноменологической модели диссертанту удалось получить согласие с опытом.

Диссертация содержит введение, 4 главы и заключение.

Во введении дано обоснование актуальности темы, сформулированы цели работы, изложено краткое содержание диссертации с описанием основных ее результатов.

Первая глава диссертации посвящена постановке эксперимента, дается качественное обсуждение полученных результатов. В выполненных экспериментах был последовательно реализован относительный способ измерения. Это достигалось с помощью специальной конструкции многослойной ионизационной камеры деления, три секции которой содержали исследуемый нуклид в виде двухсторонних слоев по 12 слоев в секции, а четвертая секция состояла из двух односторонних слоев из того же нуклида с равномерно внедренными по их толщине ядрами калифорния-252. При этом стандартный и исследуемый спектры изучались одновременно. Вес конструкционных материалов камеры был минимально возможным. Это способствовало значительному уменьшению фона случайных совпадений, что, в конечном счете, позволило получить результаты высокого качества и наблюдать эффекты в экспериментальных спектрах при энергии $E_n > 13$ МэВ, которые не удавалось ранее выявить. Измерения выше и ниже порога эмиссионного деления дало возможность сопоставлять спектры предделительных плюс постделительных нейтронов со спектрами постделительных нейтронов. Последние в спектрах нейтронов при эмиссионном делении служили как бы фоном, на котором проявлялись эффекты, связанные с эмиссией предделительных нейтронов. Впервые диссертант и соавторы наблюдали при энергии первичных нейтронов $E_n = 14.7$ МэВ в жесткой части экспериментальных распределений при энергии вторичных нейтронов $E_{th} = E_n - E_{fA-1}$ (E_{fA-1} -барьер деления ядра $A-1$) резкий край в виде ступеньки как следствие неравновесной эмиссии предделительных нейтронов из возбужденного составного ядра A . С точностью до туннельной проницаемости барьера деления E_{th} есть верхняя граница спектра предделительных нейтронов.

Во второй главе изложен усовершенствованный теоретический аппарат для анализа сечений эмиссионного деления исследуемых актинидных ядер. Впервые на базе микроскопических расчетов плотности ядерных уровней в зависимости от деформации ядра реализовано описание сечения деления для строгого многошансового расчета по Хаузеру-Фешбаху с учетом равновесного и неравновесного механизмов распада возбужденных ядер, образующихся при бомбардировке тория-232, цепочки изотопов урана 233-238, ядер нертуния-237 нейтронами с энергиями до 20 МэВ. Эти расчеты убедительно свидетельствуют о возрастающем влиянии, с увеличением энергии первичных нейтронов, неравновесного механизма эмиссии нейтронов на сечения деления. Впервые было исследовано влияние динамических эффектов на описание сечения деления и средней множественности предделительных нейтронов при высоких энергиях возбуждения.

В третьей главе диссертации, ввиду важности функционала плотности уровней при описании различных ядерно-физических характеристик, включая сечение деления, эмиссию нейтронов, проведено тестирование обобщенной сверхтекучей модели (ОСМ)

плотности уровней. Анализ данных о спектрах нейтронов из отдельных осколков спонтанного деления калифорния-252, об энергетической зависимости вероятности деления сферических ядер в районе свинца, экспериментальных массовых распределений для деления талия-201 показал, что феноменологический вариант ОСМ согласуется с результатами микроскопических расчетов. Впервые диссертантом разработан комбинированный «экспериментально-теоретический» метод определения абсолютной плотности уровней в достаточно широком диапазоне энергий возбуждения до 10 МэВ.

Удовлетворительное описание равновесных спектров в широком диапазоне энергий падающих и вылетающих нейтронов, возможность оценки важных физических параметров обобщенной сверхтекучей модели, физическая реалистичность самой модели говорят о возможности ее широкого применения при анализе экспериментальных данных.

В заключительной четвертой главе представлены результаты анализа полученных экспериментальных данных по спектрам МНД актинидных ядер. Диссертантом показано, что форма наблюдаемых энергетических распределений нейтронов для энергий первичных нейтронов $E_n = 6, 7$ МэВ воспроизводится результатами расчета в рамках традиционной модели двух источников нейтронов. В рамках этой модели было установлено, что верхняя граница спектра предделительных нейтронов реакции $(n, n'f)$ при низких E_n связана с обрезанием испарительной компоненты нейтронов реакции (n, n') при пороговой энергии $E_{th} = E_n - E_{fA-1}$, а при высоких E_n с обрезанием спектра жестких предравновесных (неравновесных) нейтронов. Диссертантом показано, что ступенчатое изменение экспериментальной зависимости средней множественности нейтронов на акт деления $\langle \nu \rangle$ при изменении энергии первичных нейтронов 6 до 7 МэВ связано с появлением источника предделительных нейтронов при $E_n \geq 6$ МэВ. Автор впервые объяснил, почему эффект сильнее проявляется в $\langle \nu \rangle$ при переходе от 6 до 7 МэВ для ядра тория-232, чем в аналогичных величинах для других ядер. Диссертантом установлено, что модель двух источников МНД согласуется с экспериментальной зависимостью $\langle \nu \rangle$ для исследуемых ядер вплоть до энергии $E_n = 8-9$ МэВ, но при более высоких энергиях $E_n > 9$ МэВ экспериментальные точки располагаются выше расчетной кривой. Впервые на основе систематического анализа экспериментальных распределений нейтронов при $E_n > 13$ МэВ выявлено, что форма экспериментальных распределений в низкоэнергетической части не описывается результатами расчета в рамках модели двух источников. Наблюдается избыточный выход мягких нейтронов в экспериментальных спектрах по сравнению с тем, что дает расчет. Автором показано, что систематика средних энергий мгновенных нейтронов деления $\langle E \rangle$, основанная на соотношениях традиционной модели двух источников нейтронов согласуется с экспериментальными данными $\langle E \rangle$ для $E_n = 6$ и 7 МэВ, но дает более высокие значения средней энергии по сравнению с результатами эксперимента для $E_n > 13$ МэВ. Как отмечалось выше, учет третьего источника нейтронов позволил объяснить наблюдаемую форму энергетических распределений, а также согласовать $\langle E \rangle$ и $\langle \nu \rangle$ для высоких E_n и всех исследуемых ядер.

В целом у официального оппонента нет принципиальных замечаний по материалам, представленных в диссертации. Замечания связаны, скорее, с формой изложения:

- в главе 1 говорится об экспериментах, выполненных на трех установках: 1- в Радиевом институте, 2 и 3 в ФЭИ в Обнинске. Подробно описан лишь первый из них. Не понятно,

чем в принципе отличаются 1 и 2, хотя в первом случае говорится о непрерывном пучке, во втором о спектрометре по времени пролета;

- в главах 2 и 3 избыточное место занимают обзорные части, что затрудняет понимание вклада автора в решение проблемы; для расчетов использовалась программа Ливерморской Национальной Лаборатории 1990-ых годов STAPRE, которая имеет ряд недостатков: сложна для пользователей, трудно модифицировать из-за недостатка документации. В настоящее время активно развивается и широко используется, например, программа TALYS, которая лишена этих недостатков, по которой могут быть посчитаны и сечения мультишансового деления.

- результаты опубликованы, в основном, в журнале «Ядерная физика»; публикация в зарубежных журналах могла бы расширить круг рецензентов и читателей;

- встречаются в диссертации и опечатки, пропущенные буквы, несогласование слов в предложении, стилистические погрешности, например: «без знания шансовой структуры сечения деления также невозможен корректный анализ энергетической зависимости свойства процесса деления».

Указанные замечания не снижают общего яркого впечатления от содержания диссертации. Диссертация М. И. Свирина представляет вполне законченное исследование, блестяще выполнившее поставленную экспериментальную задачу и приведшее к согласованному описанию обширной совокупности экспериментальных данных. Считаю, что диссертация М. И. Свирина удовлетворяет требованиям ВАК, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16. Автореферат диссертации достаточно полно раскрывает содержание диссертации.

Ведущий научный сотрудник ЛНФ ОИЯИ,
доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник
141980 г. Дубна Московской обл.,
Ул. Жолио-Кюри, 6
ОИЯИ
Тел. 7-49621-62113



Ю.М. Гледенов

Подпись ведущего научного сотрудника ЛНФ ОИЯИ,
доктора физико-математических наук,
старшего научного сотрудника
Юрия Михайловича Гледенова

ЗАВЕРЯЮ
Ученый секретарь ЛНФ ОИЯИ
Д.М.Худоба



И. Зильковская