

## К ПЯТИДЕСЯТИЛЕТИЮ ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЗИКИ ДЕЛЕНИЯ В ГАТЧИНЕ

Г.А. Петров

Реакция деления тяжелых ядер медленными нейтронами представляет собою весьма специфическую область ядерной физики низких энергий. Наиболее характерными особенностями этой области является радикальная перестройка ядерной структуры ядра при решающей роли коллективных эффектов и существование очень небольшого числа так называемых переходных состояний системы от исходного возбужденного ядра к очень большому числу (до  $10^{10}$ !) конечных состояний продуктов реакции. Такой процесс деления сложных ядер, включающих до двух с половиной сотен нейтронов и протонов, предоставляет исследователям уникальную возможность изучения динамики разрыва своеобразной капли ядерной материи. В дополнение к этому, большое количество образующихся возбужденных нейтронно-избыточных ядер-осколков представляет собой своеобразную богатейшую лабораторию для изучения различных характеристик их распада! Но, с другой стороны, эти особенности реакции деления привели к тому, что после 70-ти лет интенсивных и разносторонних исследований этого ядерного процесса он до сих пор не имеет сколько-нибудь законченной теории.

По сути дела, к настоящему времени накоплена богатейшая информация только о средних практически важных характеристиках процесса деления, а имеющаяся теория сводится к набору различных полуклассических моделей, описывающих те или иные стороны явления и нередко даже противоречащих друг другу. Поэтому основной целью и особенностью современных экспериментов в области физики деления являются многопараметрические измерения как можно большего числа характеристик реакции с тем, чтобы максимально уменьшить число параметров усреднения изучаемых физических величин.

Первая научная программа исследований по физике деления тяжелых ядер на реакторе ВВР-М была предложена доктором физико-математических наук, профессором Львом Ильичом Русиновым, бывшим в 50-е годы прошлого столетия руководителем лаборатории изомерии атомных ядер (или, как это было принято в те годы, просто лаборатории № 10). Он предложил мне, тогда аспиранту ФТИ, заняться детальными исследованиями анизотропии эмиссии гамма-квантов при делении ядер урана тепловыми нейтронами. К тому времени в США уже была выполнена первая работа в этом направлении, а у нас в Москве, в Институте атомной энергии, тогда еще молодым теоретиком В.И. Струтинским наблюдаемый эффект анизотропии был объяснен возникновением у осколков деления при разрыве делящегося ядра больших угловых моментов, ортогональных к оси деления. До энергопуска реактора ВВР-М тогда оставалось еще два года. Все мы, в основном молодые выпускники Политеха, с нетерпением ждали этого момента и активно проектировали первые экспериментальные установки. Для исследований в делении также была довольно быстро спроектирована и даже изготовлена

специальная ионизационная камера (которая, правда, так и не использовалась в первых экспериментах, но зато послужила экспонатом для экскурсантов в дни физпуска реактора).

С весны 1961 года на пучке № 9 реактора ВВР-М сотрудники тогда небольшой группы физики деления начали систематические эксперименты по физике деления. Уже в мае 1965 года руководителем группы была успешно защищена кандидатская диссертация на тему «Свойства гамма-излучения при делении  $^{233,235}\text{U}$  и  $^{239}\text{Pu}$  медленными нейтронами». В последующее пятилетие исследования в этом направлении активно продолжались, и в 1969 и 1971 годах сотрудниками уже сектора физики деления Л.А. Попеко и Г.В. Вальским были защищены еще две кандидатские диссертации.

К концу 60-х годов тематика исследований физики деления на реакторе ВВР-М существенно изменилась в сторону ее расширения. Был выполнен ряд поисковых исследований изомеров спонтанного деления в изотопах урана и плутония и радиационных переходов во второй потенциальной яме при делении тепловыми нейтронами ядра  $^{241}\text{Am}$ .

Начиная с 1978 года одним из основных направлений исследований сектора деления становится детальное изучение эффекта нарушения пространственной четности в процессе деления тяжелых ядер поляризованными тепловыми нейтронами, впервые наблюдаемого в ИТЭФ. Ввиду специфики таких исследований и относительно малых величин ожидаемых эффектов ( $\sim 10^{-4}$ – $10^{-5}$ ) для проведения соответствующих измерений на ВВР-М потребовалось развитие техники получения интенсивных нейтронных пучков поляризованных тепловых и резонансных нейтронов низких энергий. В Гатчине такие эксперименты стали проводиться на поляризующих нейтронноводах пучков № 6 и № 9 и с помощью двух вариантов специально спроектированных кристалл-дифракционных монохроматоров, вначале на касательном канале № 10, а затем на пучке № 1 реактора ВВР-М. На этих пучках и установках в 1978–1982 г.г. были проведены эксперименты по исследованию массовой и энергетической зависимости этого Р-нечетного эффекта при делении  $^{233,235}\text{U}$  и  $^{239}\text{Pu}$  (кандидатская диссертация А.К. Петухова).

Для расширения возможностей экспериментальных исследований процесса деления тяжелых ядер в 1971 году на базе синхроциклотрона института был создан уникальный Гатчинский нейтронный спектрометр по времени пролета (ГНЕЙС). Этот прибор позволил не только выполнить целый ряд новых интересных исследований в области физики деления ядер резонансными нейтронами, как, например, систематические исследования так называемого  $(n,\gamma f)$ -процесса при делении  $^{233,235}\text{U}$  и  $^{239}\text{Pu}$  (кандидатская диссертация О.А. Щербакова), получить оценки электрической поляризуемости нейтрона (кандидатская диссертация А.Б. Лаптева), но и провести широкий круг прецизионных измерений сечений деления ряда тяжелых ядер быстрыми нейтронами с энергиями до 200 МэВ, имеющих большое прикладное значение и вошедших в международный банк ядерных данных.

Начиная с 1985 года Лаборатория физики деления проводит свои исследования в области физики деления в рамках широких коллабораций. Так, в 1989–1995 г.г. на импульсном реакторе ОИЯИ ИБР-30/ЛИУ-40 в сотрудничестве с ЛНФ были впервые проведены систематические исследования энергетической зависимости эффектов нарушения пространственной четности в делении и связанных с ними Р-четных интерференционных эффектов в широкой области энергий резонансных нейтронов. С теоретиками ОИЯИ и ИАЭ был проведен и теоретический анализ всех полученных экспериментальных результатов. В коллаборации с Радиевым институтом им. В.Г. Хлопина на жидкостном 4π-нейтронном детекторе был выполнен уникальный цикл исследований множественности нейтронов, испускаемых парными осколками спонтанного деления изотопов  $^{245,248}\text{Cm}$  и  $^{252}\text{Cf}$  с различными массами и энергиями.

В ожидании ввода в строй реактора ПИК, начиная с 90-х годов прошлого столетия, сотрудники лаборатории (ныне группы) физики деления ПИЯФ РАН практически ежегодно выполняют по одному выездному эксперименту на высокопоточном реакторе Института Лауэ-Ланжевена в Гренобле. Вначале проводимые эксперименты были посвящены систематическим поисковым исследованиям эффектов нарушения пространственной четности для различных делящихся систем от  $^{230}\text{Th}^*$  до  $^{250}\text{Cf}^*$ . Начиная с 1995 года и по настоящее время на этом реакторе в рамках широкой международной коллаборации ведутся исследования впервые наблюдаемого и весьма перспективного с точки зрения изучения динамики деления так называемого эффекта Т-нечетной асимметрии эмиссии легких заряженных частиц в тройном делении тяжелых ядер. Суть этого нового явления состоит в том, что поляризованные делящиеся ядерные системы вращаются вокруг направления своей поляризации, что приводит к весьма небольшим (порядка  $10^{-3} \div 10^{-4}$ ), но вполне наблюдаемым, изменениям угловых распределений продуктов деления. Такие изменения сводятся к разной вероятности эмиссии легких частиц в тройном делении тяжелых ядер при инверсии направления их поляризации (так называемый TRI-эффект Т-нечетной асимметрии) и к сдвигу их угловых распределений (так называемый ROT-эффект Т-нечетной асимметрии). В свою очередь, величины таких эффектов оказываются теснейшим образом связанными с основными динамическими характеристиками процесса деления при низких энергиях возбуждения. Поэтому открытие и детальное изучение таких эффектов позволило использовать совершенно уникальные, ранее не существовавшие, возможности изучения динамики процесса деления. К настоящему времени коллаборацией ученых ПИЯФ РАН с Университетами городов Тюбинген и Дармштадт (Германия) и г. Юваскула (Финляндия) на реакторе ИЛЛ уже детально исследованы делящиеся холодными продольно поляризованными нейтронами изотопы  $^{233,235}\text{U}$   $^{239}\text{Pu}$ . Получены новые уникальные данные о динамике деления этих ядер. В результате теоретического анализа полученных данных учеными ПИЯФ РАН разработана и предложена модель механизма возникновения таких эффектов.

В ближайшее время планируются исследования и других ядер, делящихся не только холодными поляризованными нейтронами, но и резонансными поляризованными нейтронами низких энергий.

Пристальный интерес к реакции деления и имеющиеся широкие возможности проведения работ на нейтронных пучках реактора ВВР-М в течение прошедших 50-ти лет привели к постановке целого ряда исследований по физике деления сотрудниками других лабораторий нашего института и исследовательских институтов страны.

Так, уже в 70-е годы на пучке № 7 активно работали сотрудники Радиевого института им. В.Г. Хлопина во главе с М.В. Блиновым, изучавшие характеристики нейтронного и гамма-излучений при делении. На первом кристалл-дифракционном монохроматоре поляризованных нейтронов на тангенциальном пучке реактора № 10 группа сотрудников ИТЭФ во главе с Г.В. Даниляном проверяла впервые обнаруженный нами эффект изменения знака Р-нечетного эффекта при делении  $^{233}\text{U}$  нейтронами с энергией 0,17 эВ.

На поляризованном нейтронном пучке канала № 6 сотрудники сектора В.М. Лобашева при помощи оригинальной методики с высокой точностью подтвердили сам факт открытия учеными ИТЭФ эффекта нарушения пространственной четности в делении  $^{233,235}\text{U}$ . На радиальном нейтронном пучке № 1 реактора ВВР-М в 1968–1973 годах сотрудники лаборатории А.А. Воробьева выполнили ставший классическим цикл исследований характеристик легких заряженных частиц в тройном делении ряда тяжелых ядер тепловыми нейтронами.

Нет никаких сомнений, что давно и с нетерпением ожидаемый ввод в эксплуатацию нового реактора ПИК с гораздо более широкими возможностями, чем наш существующий ВВР-М, позволит вписать в книгу наших достижений новые замечательные страницы во всех областях физики, связанной с нейтронами, включая и физику деления тяжелых ядер при низких энергиях возбуждения.