

Технология подготовки групповых макроскопических констант и методика их уточнения в процессе расчета задач переноса нейтронов

**А.Н.Гребенников, Г.Г.Фарафонов, А.В.Алексеев, С.В.Мжачих,
Н.А.Крутько**

Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, проспект Мира, 37, Саров,
Нижегородская область, Россия

Описана система константного обеспечения нейтронно-физических расчетов и, в частности, расчетов нестационарных задач переноса нейтронов и задач расчета энерговыделения в групповом кинетическом приближении, созданная в РФЯЦ-ВНИИЭФ. Суть системы заключается в использовании замкнутой технологической цепочки работы с данными: работа с библиотеками оцененных нейтронных данных, выработка рекомендаций по использованию тех или иных библиотек констант для различных классов задач, расчет групповых констант и уточнение констант в процессе решения нестационарных задач переноса нейтронов.

Введение

Численное моделирование процесса переноса нейтронов в веществе является одним из важнейших направлений математической физики. Одним из наиболее распространенных подходов моделирования этого процесса является так называемый групповой подход. Точность и достоверность результатов получаемых при этом в значительной степени зависит от «качества» (т.е. от их соответствия происходящему физическому процессу) групповых характеристик взаимодействия нейтронов с ядрами веществ используемых при решении уравнения переноса, т.е. от «качества» групповых нейтронных констант. Поэтому, одним из возможных способов повышения точности и физической достоверности результатов решения задачи нейтронного переноса является повышение «качества» групповых констант используемых в процессе решения задачи, которое, как известно, определяется, в основном, следующими факторами:

- (1) Соответствием используемых для подготовки групповых констант исходных спектральных данных (как правило, из библиотек оцененных нейтронных данных) конкретной решаемой задаче или классу задач;
- (2) Корректностью выбора группового энергетического разбиения для задачи;
- (3) Способа подготовки групповых констант, который определяется конкретными алгоритмами расчета и правильным выбором используемых в расчетах весовых функций (которые обычно заранее не известны).

В докладе рассматривается система константного обеспечения нейтронно-физических расчетов, созданная в РФЯЦ-ВНИИЭФ. Основной задачей, для решения которой и создана система является, прежде всего, повышение «качества» подготовки групповых макроскопических нейтронных констант и констант γ -образования и γ -взаимодействия. Все компоненты системы образуют замкнутую технологическую цепочку: работа с библиотеками оцененных нейтронных данных, выработка рекомендаций по использованию тех или иных библиотек констант для различных классов задач, расчет групповых констант и уточнение констант в процессе решения нестационарных задач переноса нейтронов. Основные усилия разработчиков, на данном этапе, были направлены на разработку методов, программ и технологий работы с данными (т.е. таких компонент системы), которые позволили бы смягчить, а в идеальном случае, вообще устранить погрешности, вносимые двумя из трех вышеперечисленных факторов и ухудшающие «качество» групповых констант, а, следовательно, и точность и физическую достоверность полученных результатов решения уравнения нейтронного переноса. Речь идет, прежде всего, о первом факторе (соответствие исходных спектральных данных решаемой задаче), и о третьем факторе (повышение качества подготовки групповых констант за счет использования «правильных», т.е. соответствующих параметрам рассчитываемой системы весовых функций).

Общее описание системы константного обеспечения.

Общая схема системы константного обеспечения нейтронно-физических расчетов приведена на рисунке 1.

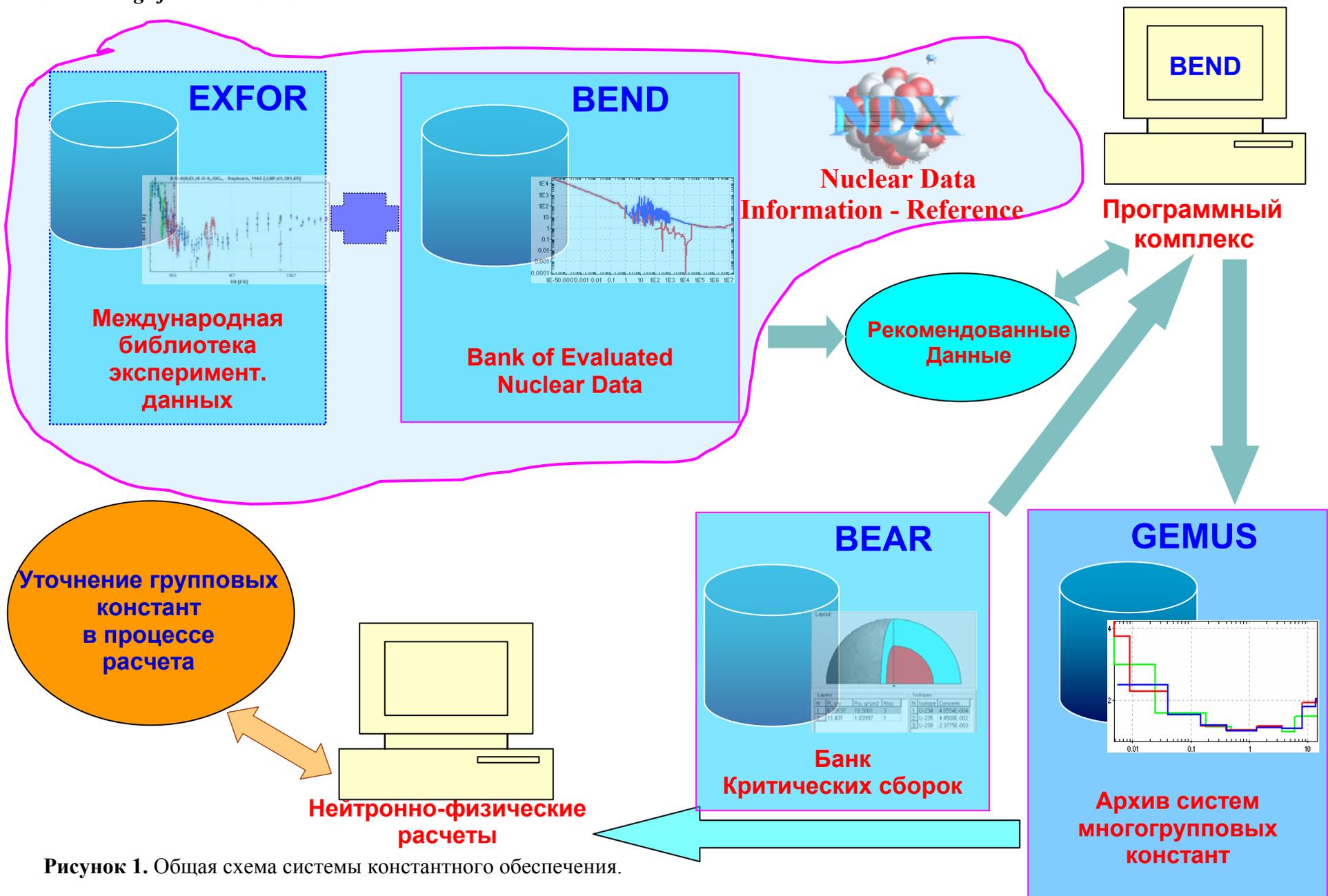


Рисунок 1. Общая схема системы константного обеспечения.

Как видно из приведенной схемы, основными компонентами системы константного обеспечения являются:

(1) **Базы данных:**

- Международная библиотека экспериментальных ядерно-физических данных EXFOR (описание библиотеки приведено, например, в работе McLane (2000)), содержит в настоящее время в электронном виде более 103 000 публикаций работ различных авторов (более 500 Мбайт). Используется, в основном, для проведения сравнительного анализа оцененных данных из различных источников;
- Архив библиотек оцененных ядерных данных BEND (Фарафонов и Гребенников, 1994), в настоящее время содержит более 25 библиотек оцененных данных из различных ядерных центров мира, общим объемом свыше 1.5 Гбайт данных;
- Банк интегральных критических сборок BEAR, содержит геометрию и результаты экспериментальных измерений некоторых интегральных характеристик более 300 сферических и цилиндрических систем;
- Архив систем многогрупповых нейтронных, констант γ -образования и γ -взаимодействия GEMUS. В отличие от баз данных, описанных выше и которые получены из внешних источников, архив содержит системы рассчитанных по программному комплексу системы групповых констант, каждая из которых предназначена для расчета либо отдельных специализированных задач, либо для расчетов разных классов задач (тепловые, быстрые и т.п.). Каждая из систем, содержит групповые данные определенного набора изотопов, из определенных библиотек оцененных данных, подготовленных с использованием специального энергетического разбиения, различных специальных весовых функций, с использованием определенных сеток по температурной зависимости, по сечениям разбавления и т.д. В настоящее время в архиве содержится более 300 специализированных систем констант.

(2) **Программное обеспечение:**

- Программный комплекс Архива BEND (Фарафонов и Гребенников, 1994), предназначен, в основном, для контроля, обработки и расчета спектральных данных из библиотек групповых констант, а также расчета и контроля групповых данных;

- Программное обеспечение используемое в процессе решения задач нейтронного и γ -переноса для подготовки групповых макроскопических констант, а также для уточнения групповых данных во время расчета.

Следует отметить два момента:

- (1) Все перечисленные базы данных константного обеспечения, снабжены графическими сервисными оболочками, позволяющими, во-первых, контролировать целостность хранимых данных, во-вторых, осуществлять табличное и графическое представление данных в удобном для пользователя виде, в-третьих, проводить сравнительный анализ различных характеристик, в том, числе и из разных баз данных;
- (2) Библиотека экспериментальных данных EXFOR и архив библиотек оцененных данных BEND, а также ряд баз данных по структуре ядра и ядерно-физическим взаимодействиям (не отражено на рисунке), погружены в информационно-справочную систему ядерных данных **NDX** (Гребенников и др., 2001). Данная система, по сути, представляет собой автоматизированное рабочее место специалиста в области ядерно-физических данных. Более подробно возможности NDX будут описаны в докладе ниже.

Кратко опишем основные компоненты системы и основные подходы к работе с ядерными константами.

Архив библиотек оцененных ядерных данных и программный комплекс для работы с ними

Архив (Фарафонов и Гребенников, 1994) в настоящее время содержит более 25 библиотек оцененных ядерных данных по взаимодействию нейтронов, протонов, дейтонов, трития, гамма-излучения с веществом, полученных из различных ядерных центров мира (США, Япония, Китай, Европа, Россия), а также специализированных и рекомендованных для различных классов задач библиотек, созданных во ВНИИЭФ. Более 9000 изотопов, Объем – 1.5 Гб. В качестве формата хранения данных принят формат американской библиотеки ENDF (Rose и Dunford, 1976, BNL, 1997). Архив организован в виде трехуровневой иерархической структуры, которая обеспечивает удобный и логичный доступ к различным классам данных (см. рисунок 2).

Программный комплекс архива BEND предназначен как для обработки спектральных данных и расчета групповых констант, так и для работы с уже рассчитанными групповыми константами. Программы комплекса созданы на языке Fortran-90, общий объем около 100 000 строк. За основу концепции работы данных принят подход, реализованный в программном пакете NJOY Лос-аламосской лаборатории США (MacFarlane и Muir, 1994). В комплекс BEND был адаптирован

и включен ряд программ работы со спектральными данными из пакета NJOY. Основные программы комплекса BEND осуществляют:

- Структурный и физический контроль спектральных и групповых данных;
- Восстановление спектральных нейтронных сечений из резонансных параметров;
- Расчет эффективных спектральных данных с учетом движения ядер среды и химических связей атомов в веществах;
- Расчет интегральных величин: резонансных интегралов, средних сечений в различных спектрах, G-факторов Весткотта, функции пропускания;
- Расчет групповых нейтронных констант и констант γ -образования с учетом резонансной самоэкранировки;
- Расчет эквивалентных изотропных групповых констант;
- Расчет характеристик одномерных критических систем в многогрупповом анизотропном приближении.

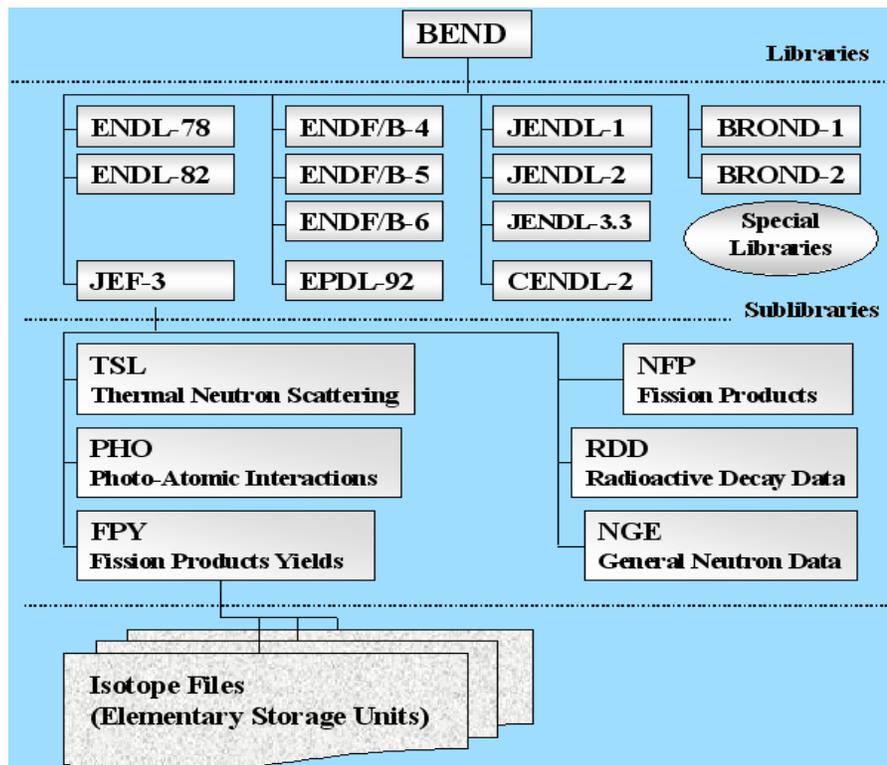


Рисунок 2. Иерархическая структура архива BEND.

NDX информационно-справочная система ядерных данных

В настоящее время в области константного обеспечения ядерно-физических расчётов доступен и используется на практике весьма широкий арсенал источников, публикующих в электронном виде разнообразные ядерные данные. По своей сути данные могут быть как результатами прямых экспериментальных измерений, так и оценками, полученными из различных теоретических моделей. Международным Агентством по Атомной Энергии (МАГАТЭ, Вена, Австрия) в электронном виде распространяются как отдельные файлы с данными, описывающими структуру атомного ядра, так и целые библиотеки экспериментальных измерений, библиотеки оценённых констант с информацией о процессах взаимодействия элементарных частиц с ядром.

Практика использования разнообразных баз ядерных данных и их сервисного программного обеспечения позволила сформулировать три ключевых положения дальнейшего развития сервисных программных средств константного обеспечения:

- (1) Интеграция в рамках единой программной оболочки баз данных различного назначения и из различных источников с возможностью проведения их графического сравнительного анализа;
- (2) Предоставление пользователям возможности проведения анализа приемлемости данных из тех или иных источников (в случае наличия однотипных данных из разных источников) для решения его задач;
- (3) Создание такой оболочки как информационно-справочной системы с гибко настраиваемым содержанием и варьируемым объёмом поставляемых баз данных с ориентацией на потребности различных категорий пользователей.

Эти тезисы и составляют основу концепции описываемой информационно-справочной системы ядерных данных NDX (Nuclear Data Expert's Studio), разработанной и созданной в РФЯЦ-ВНИИЭФ для обеспечения специалистов в области ядерно-физических исследований всеми необходимыми данными, представленными в удобном графическом виде, возможностью проведения их обработки и некоторого анализа их «качества» (Гребенников и др., 2001).

Таким образом, система NDX представляет собой объединение под единой графической оболочкой разнообразных данных, описывающих как структуру ядра, так и характеристики процессов взаимодействия различных частиц и излучений с ядрами вещества, и оснащенной математическим аппаратом для обработки и анализа хранимых данных. Данная система создана с использованием современных технологий программирования и представляет собой удобный инструмент для работы специалистов, занимающихся проблемами ядерно-физических данных.

В свете выше изложенного следует, что информационно-справочную систему NDX можно рассматривать как компоненту компьютерного автоматизированного рабочего места специалиста в области ядерно-физических данных.

Основные типы данных, включенные в NDX

В настоящее время NDX включает следующие типы данных открытых и периодически публикуемых источников:

- Оценённые ядерные данные по характеристикам взаимодействия частиц и излучения с ядрами вещества в формате из архива BEND.
- Международная библиотека экспериментальных данных EXFOR. Содержит в специальном формате данные по экспериментальным измерениям характеристик ядерных процессов из более 103 000 публикаций в различных мировых журналах по ядерно-физической тематике;
- Данные из таблицы ядерных масс и энергий реакций Audi и Wapstra (1995);
- Данные из международной базы по структуре атомного ядра ENSDF (Tuili , 1987), включая: характеристики уровней возбуждения, параметры уровней выходов гамма-излучения, свойств основных и метастабильных состояний и др.;
- Данные свойств изотопов Karlsruhe Nuklidkarte (1995);
- Данные по продуктам мгновенного деления (Колобашкин и др., 1969).

Описанию даже основных возможностей системы NDX необходимо посвящать отдельный доклад. Поэтому здесь кратко скажем лишь о возможностях, предоставляемых системой при работе с оцененными спектральными данными, как наиболее объемными и наиболее практически значимыми для константного обеспечения ядерно-физических расчетов. Имеются основные возможности:

- Табличный просмотр и построение двух и трехмерных графиков различных величин, с возможностью наложения зависимостей на один график с целью их сравнения, а также сравнения их с экспериментальными данными библиотеки EXFOR;
- Некоторые вычислительные возможности обработки данных: восстановление поточечного поведения сечений процессов из резонансных параметров, доплеровское уширение сечений процессов для различных значений температуры ядер среды;
- Расчет некоторых интегральных характеристик, таких как средние сечения процессов в различных спектрах (спектры Максвелла, NBS, Уатта), резонансные интегралы, G-факторы Весткотта, и др. Данные интегральные величины могут использоваться для оценки качества оцененных данных, полученных из тех или иных источников, путем сравнения их с опубликованными или экспериментальными значениями. Кроме того, результаты расчетов резонансных интегралов и значения в тепловой точке можно сравнить с соответствующими величинами из базы ENSDF.

На рисунке 3 приведены примеры работы с оцененными спектральными данными.

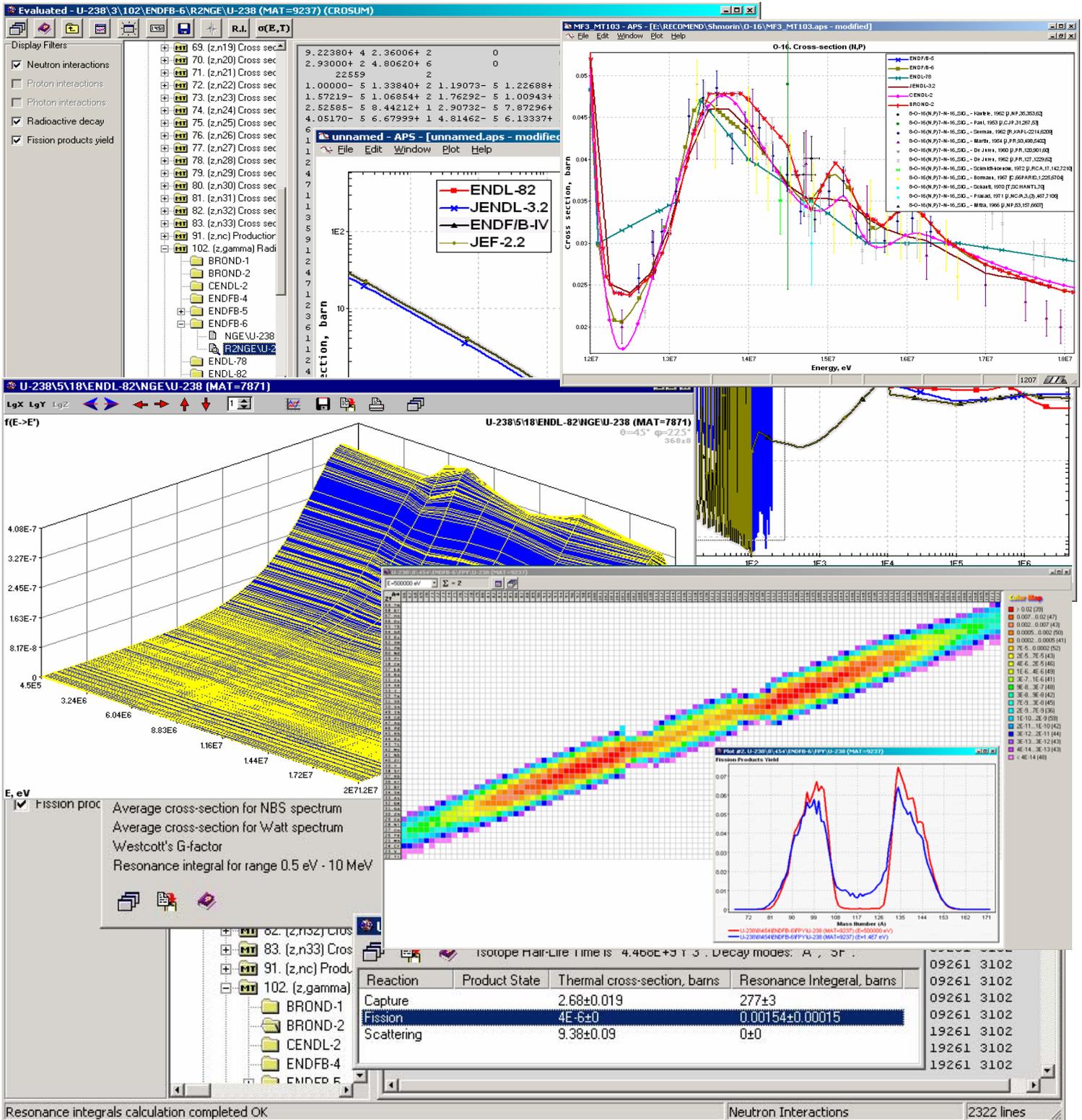


Рисунок 3. Примеры графического представления и анализа оцененных спектральных и экспериментальных данных в системе NDX.

Основные подходы к оценке «качества» оцененных спектральных констант и выработке рекомендаций по их применению

Как уже отмечалось выше одна из основных причин снижающих физическую достоверность результатов решения уравнения переноса, связана с неполным соответствием используемых нейтронно-ядерных констант конкретной решаемой задаче или классу задач. Назовем это степенью применимости данных для решения конкретной проблемы. По нашему мнению, на текущий момент не существует единой и универсальной библиотеки нейтронных констант, применимой для решения всех классов задач, которые ставятся перед нами.

В РФЯЦ-ВНИИЭФ принят подход, который заключается в создании на базе имеющихся данных в мировых библиотеках оцененных констант и частичной их корректировки, специализированных библиотек констант рекомендованных для расчетов определенных классов задач.

Процесс оценки «качества» данных, или точнее их применимости для определенных задач и создания рекомендованных библиотек состоит из нескольких этапов:

- (1) Сравнительный анализ данных из рассматриваемых библиотек оцененных констант с данными экспериментальных измерений (библиотека EXFOR). Анализируются наиболее представительные характеристики и процессы на всей совокупности, рассматриваемых изотопов;
- (2) Сравнение рассчитанных интегральных характеристик (средние сечения в различных характерных спектрах, резонансные интегралы, G-факторы Весткотта и др.) с экспериментальными или рекомендованными данными;
- (3) Расчеты параметров критическихборок, моделирующих определенный класс задач. Например, в процессе создания одной из производственных рекомендованных библиотек было рассчитано около 100 критическихборок.

После анализа результатов, полученных на этих трех этапах, экспертной оценкой принимается решение о включении изотопа из той или иной библиотеки в создаваемую рекомендованную библиотеку для данного класса задач. Иногда принимаются решения о небольшой корректировке, включаемых данных. К примеру, упомянутая выше одна из рекомендованных библиотек для решения задач трансмутации содержит данные для 97-ми изотопов из 6-ти мировых библиотек, 4 изотопа получены по методикам и программам ВНИИЭФ.

Уточнение групповых констант в процессе решения задачи переноса нейтронов

Существующая технология подготовки групповых констант для решения уравнения переноса нейтронов выглядит примерно следующим образом:

- (1) Оценка применимости нейтронно-физических характеристик изотопов из различных библиотек оцененных данных для расчета определенного класса задач (описано выше);
- (2) Выбор группового энергетического разбиения. Этот этап подготовки групповых констант является существенным в силу того, что от правильности выбора группового разбиения во многом определяется степень соответствия получаемых расчетных характеристик физической модели системы. Очевидно, что увеличение числа энергетических групп повышает точность расчетов, но при этом существенно увеличивается время расчета переноса нейтронов (более чем линейная зависимость), и увеличивается размер требуемой оперативной памяти. Этот вопрос в данном докладе рассматривать не будем;
- (3) Выбор спектральных весовых функций, используемых в расчетах групповых констант. Идеальным вариантом являлась бы схема, при которой в качестве весовых функций при подготовке констант разных физических областей использовались бы спектры нейтронов соответствующих областей на разные моменты работы системы. Понятно, что заранее (до проведения расчетов системы) неизвестно точное энергетическое распределение нейтронов в разных областях системы. На практике, достаточно часто используют в качестве весовых функций спектры нейтронов, полученные из расчетов похожих систем. В некоторых случаях в качестве весовых функций используют какие-либо стандартные спектры (спектры Максвелла, деления, и др.).

Серьезным недостатком описанной выше процедуры подготовки групповых констант является использование весовых функций не соответствующих реальным энергетическим распределениям нейтронов в рассчитываемых системах. В первую очередь эти отличия сказываются на матрице упругого рассеяния, а также на результатах усреднения сечений реакций (пороговых реакций и реакций, чьи сечения сильно зависят от энергии). Одним из возможных способов уменьшения погрешностей, связанных с неточностью знания формы спектра нейтронов, является увеличение числа нейтронных групп. Однако недостатки такого подхода мы рассмотрели выше.

Другим подходом к решению данной проблемы может быть подход, разрабатываемый во ВНИИЭФ. Суть подхода заключается в том, что в процессе расчета задачи происходит переподготовка групповых констант на каждом временном этапе, на котором произошло существенное изменение нейтронного спектра в какой-либо из физических областей системы. Пересчет групповых констант осуществляется с использованием спектров нейтронов, соответствующих данному состоянию системы и специально созданных для этого мультигрупповых (несколько сотен групп) систем констант. Такой подход позволяет при использовании относительно небольшого числа групп (несколько десятков) получать результаты, сопоставимые по точности с расчетами на значительно большем числе групп (сотни). При этом достигается существенная экономия вычислительных ресурсов, что особо важно при решении многомерных задач. Мы называем такой подход «динамический пересчет констант». Инициатива его разработки принадлежит Р.М.Шагалиеву.

Схематично подход с пересчетом констант можно представить следующим образом (см. рисунок 4)

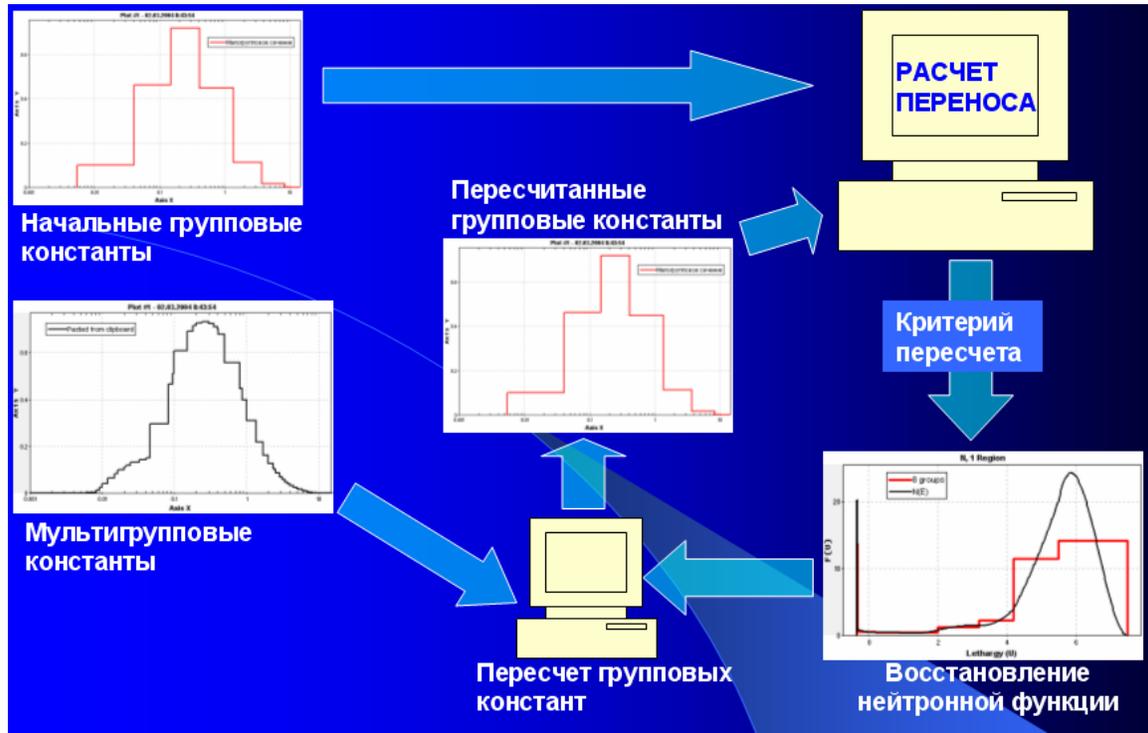


Рисунок 4. Схема расчета с уточнением групповых констант в процессе.

Как видно из рисунка, расчет нестационарной задачи переноса нейтронов разбивается на ряд циклически повторяющихся этапов:

- (1) Решение задачи переноса нейтронов на временном шаге с использованием малого числа групп (в пределах нескольких десятков);
- (2) Анализ необходимости пересчета констант;
- (3) Восстановление по данным группового расчета непрерывного спектрального распределения нейтронов в каждой из областей;
- (4) Пересчет групповых констант для всех изотопов задачи с использованием данных мультигрупповой системы и известной непрерывной весовой функции;
- (5) Переход к пункту (1) алгоритма для решения уравнения переноса на новом временном шаге.

Отметим, что одним из наиболее сложных для разработчиков был этап № 3, т.е. разработка методики восстановления непрерывной энергетической зависимости из групповых распределений нейтронов. От такой методики требуется выполнение, по крайней мере, следующих условий:

- Восстанавливаемая функция должна быть неотрицательной и достаточно гладкой.

- Восстанавливаемая функция должна сохранять интегральные значения чисел нейтронов в каждой группе.
- Алгоритм восстановления должен быть надёжным и недорогим, т.к. он встраивается в общую цепочку расчётов нестационарных процессов.

Для расчета достаточно гладкой и в то же время неотрицательной спектральной функции, аппроксимирующей массив групповых данных – средних значений по области (веществу) для величины скалярного потока или числа нейтронов, были численно исследованы несколько способов. Наиболее удачным оказался алгоритм, основанный на решении задачи поиска условного минимума. Суть метода в следующем.

Имеется массив $u_i (i=0,1,\dots,n)$, задающий разбиение на группы. Авторы методики остановили свой выбор на величине летаргии $u_i = \ln^{10} E_i$, где E — энергия, выраженная в МэВ. Для каждой группы $i (u \in [u_{i-1}, u_i])$ имеется массив значений $[\bar{f}_i \Delta u_i]$ ($\Delta u_i = u_i - u_{i-1}$), полученный из малогруппового расчёта. Было установлено, что лучше всего в качестве массива $[\bar{f}_i \Delta u_i]$ использовать величину, задающую число нейтронов в области.

Искомый спектр $f(u)$ аппроксимируется множеством непрерывных функций $f_i(u)$, заданных на соответствующих интервалах $[u_{i-1}, u_i]$. На функции $f_i(u)$ накладываются следующие условия:

- $f_i(u_i) = f_{i+1}(u_i)$;
- $\int_{u_{i-1}}^{u_i} f_i du = \bar{f}_i \Delta u_i$.

На краях задаются нулевые условия: $f_1(u_0) = f_n(u_n) = 0$. В качестве $f_i(u)$ использовались полиномы степени не выше 3.

Определим в качестве целевой функцию

$$Y(z_1, z_2, \dots, z_{n-1}) = 0.5 \sum_{i=2}^n y_i^2,$$

где

$$z_i = f_i(u_i), \quad i = 1, 2, \dots, n-1;$$

$$y_i = \omega (f'_{i-1}(u_{i-1}) - f'_i(u_{i-1})), \quad i = 2, \dots, n.$$

Величина $f'_{i-1}(u_{i-1}) - f'_i(u_{i-1})$ определяет разрыв в производной аппроксимирующей функции на границах групп, а вектор весов ω нужен для задания «ценности» того или иного разрыва в расчете целевой функции: чем больше величина $|\bar{f}_{i-1} - \bar{f}_i|$, тем

ближе к нулю величина ω_i . Необходимость задания весов связана с опытом расчетов. Первоначально расчеты проводились с целевой функцией без весов ($\omega_i \equiv 1$), и было установлено, что метод пытается уравнивать производные парабол прежде всего на границах с большими перепадами значений \bar{f} . С другой стороны, сглаживать функцию лучше там, где нет больших градиентов, а на границах групп с большими перепадами средних значений решения вполне можно ограничиваться не очень гладкой аппроксимацией. Хорошим выбором можно считать формулу

$$\omega_i = \frac{\min(\bar{f}_{i-1}, \bar{f}_i)}{\max(\bar{f}_{i-1}, \bar{f}_i)} \times \frac{\min(\Delta u_{i-1}, \Delta u_i)}{\max(\Delta u_{i-1}, \Delta u_i)}.$$

Задача заключается в поиске минимума целевой функции с учётом ограничений типа

$$0 \leq z_i \leq C_i, \quad i=1, 2, \dots, n-1,$$

которые гарантируют неотрицательность полиномов $f_i(u)$ на соответствующих интервалах u . Например, при использовании кусочно-параболической аппроксимации можно задать $C_i = \min(3\bar{f}_{i-1}, 3\bar{f}_i)$. Исследовались и более сложные (и более точные) ограничения, но от них отказались в пользу быстродействия и надёжности алгоритма.

Для решения задачи поиска минимума с простыми (константными) ограничениями использовался метод Ньютона. При этом в итерационном цикле методом прогонки решаются системы уравнений с трехдиагональной матрицей (для случая кусочно-параболической аппроксимации).

Методика и алгоритм пересчета групповых констант из мультигрупповых с использованием в качестве новой весовой функции, полученную на предыдущем этапе (этап №3) вычислений непрерывную функцию $f(u)$, являются стандартными, поэтому в докладе их нет особой необходимости приводить.

В качестве иллюстрации эффективности описанного алгоритма, ниже приведены результаты расчетов параметра $K_{эфф}$ для критической сборки **hmf933** (таблица 1) из архива BEAR. В таблице 2 приведены отклонения в % от экспериментальных значений $K_{эфф}$ расчетов с 14-ти и 26-ти групповым разбиением без динамического пересчета и с динамическим пересчетом констант. Причем в расчетах с динамическим пересчетом использовалось 6 итераций по пересчету, т.е. 6 раз уточнялись константы с использованием спектра нейтронов с предыдущей итерации.

Таблица 1. Состав критической сборки hmf933.

Номер Области	Радиус, см	Плотность, г/см ³	Изотопный состав	Концентрация, ядер/барн/см
1	1.5	0.8	6Li	5.3720e-2
			7Li	4.9002e-3
			2H	5.8170e-2
			1H	3.8302e-3
			16O	1.8239e-4
			12C	1.2159e-5
			14N	1.2159e-5
2	1.6	18.38	235U	4.2143e-2
			238U	4.2053e-3
			234U	5.1743e-4
			236U	1.7405e-4
3	3.15	20.26	237Np	4.9308e-2
			235U	1.9719e-3
			236U	2.0594e-4
4	3.25	17.33	235U	3.9735e-2
			238U	3.9651e-3
			234U	4.8787e-3
			236U	1.6410e-4
5	5.65	0.00122	N	3.5214e-5
			O	1.5092e-5
6	5.75	17.83	235U	4.0882e-2
			238U	4.0795e-3
			234U	5.0195e-4
			236U	1.6884e-4
7	6.73	19.96	237Np	4.9947e-2
			235U	6.9477e-4
			236U	7.0998e-5
8	6.92	18.13	235U	2.1099e-4
			236U	4.5656e-2
9	7.05	0.00122	N	3.5214e-5
			O	1.5092e-5
10	11.387	18.066	235U	4.1328e-2
			238U	4.1347e-3
			234U	4.9447e-4
			236U	1.0831e-4

			W	2.3546e-5
			Fe	8.4766e-5
			C	4.8976e-4
			Ni	4.2854e-4

Таблица 2. Отклонения (%) $K_{эфф}$ от экспериментального значения.

Число групп	Без пересчета констант	С пересчетом констант	
	Отклонение $K_{эфф}$ (%)	Номер итерации	Отклонение $K_{эфф}$ (%)
14	1.49	1	1.19
		2	0.23
		3	0.17
		4	0.11
		5	0.09
		6	0.09
26	0.73	1	0.19
		2	0.04
		3	0.02
		4	0.02
		5	0.01
		6	0.01

Заключение

В докладе описана, созданная во ВНИИЭФ система константного обеспечения нейтронно-физических расчетов, подходы и методы работы с данными, направленные на повышение точности и достоверности (т.е. соответствия классу решаемых физических задач) групповых констант, используемых при решении задач нейтронного переноса. В докладе особо описаны:

- Подходы к оценке «качества» оцененных спектральных констант и выработке рекомендаций по их применению для решения тех или иных физических проблем;
- Методика уточнения групповых констант в процессе решения задачи переноса нейтронов. Суть методики заключается в том, что в процессе расчета задачи происходит переподготовка групповых констант на каждом временном этапе, на котором произошло существенное изменение нейтронного спектра в какой-либо физических областей системы. Тем самым уменьшается погрешность, связанная с неточностью формы спектра нейтронов при подготовке групповых констант.

Список использованных источников

- Гребенников А.Н., Фарафонов Г.Г., “Принципы организации архива и комплекса программ для работы с данными архива”, ВАИТ. Сер. Математическое моделирование физических процессов. 1994, вып. 2, с.65-71.
- A.N.Grebennikov, N.A.Krut'ko, G.G.Farafontov, “ Nuclear Data Information-Reference System NDX ” Proceedings of International Conference “Nuclear Data for Science and Technology”, Oct. 7-12 2001. Tsukuba, Japan.
- P. F. Rose, C. L. Dunford. ENDF-6 Formats Manual Preliminary Version of May 1988. Report IAEA-NDS-76
- ENDF-102 Data Formats and Procedures for the Evaluated Nuclear Data File ENDF-6. Cross Section Evaluation Working Group, February 1997, BNL-NCS-44945,Rev.2/97
- R.E.MacFarlane and D.W.Muir
The NJOY Nuclear Data Processing System. Version 91, LA-12740-M, October 1994.
- EXFOR Systems Manual. Document IAEA-NDS-207 Rev. 2000/09. Compiled and edited by Victoria McLane, National Nuclear Data Center, Brookhaven National Laboratory, USA.
- G. Audi and A. H. Wapstra. The 1995 update to the atomic mass evaluation. Nuclear Physics A595 vol. 4 p.409-480, December 25, 1995.
- J. K. Tuli. The evaluated Nuclear Data File (ENSDF). Report BNL-NCS-51655. Rev. 87. April 1987.
- G. Pfennig, H. Klewe-Nebenius, W. Seelmann-Eggebert. Karlsruher Nuklidkarte. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH Technik und Umwelt. 6. Auflage 1995.
- А. А. Грешилов, В. М. Колобашкин, С. И. Дементьев. Продукты мгновенного деления ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu в интервале 0 – 1 ч. - М.: Атомиздат, 1969.