



Российская Академия Наук

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ
БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ
АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**



RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

**NUCLEAR SAFETY
INSTITUTE**

Препринт ИБРАЭ № ИБРАЭ-2012-06

Preprint IBRAE-2012-06

П.А. Блохин, Е.Ф. Митенкова

ОПИСАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА GRAYS ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ γ -ИСТОЧНИКА

Москва
2012

Moscow
2012

УДК 621.039.51

Блохин, П.А. Описание программного комплекса GrayS для формирования γ -источника / П.А. Блохин, Е.Ф. Митенкова, — (Препринт / Ин-т проблем безопас. развития атом. энергетики РАН, № IBRAE-2012-06). — М. : ИБРАЭ РАН, 2012. — 28 с. — Библиогр.: 15 назв. — 50 экз.

В данной работе описан п/к **GrayS** (Gamma-ray Source), предназначенный для формирования γ -источника для заданной смеси радионуклидов. Приведены примеры расчетов γ -источников и активности ОТВС реакторов БН и ВВЭР-1000. Показаны сравнительные спектры γ -излучения для ряда изотопов (W^{188} , Np^{237} , Pu^{238} , Pr^{150} , Eu^{156} , Ra^{228} , Ru^{105}), сформированные на основе БРОНД-3/DD, ENDF/B-VII.0 и JEFF-3.1.1.

©ИБРАЭ РАН, 2012

Blokhin, P.A. Specification of GrayS program for γ -source generation / P.A. Blokhin, E.F. Mitenkova — (Preprint / Nuclear Safety Institute RAS, IBRAE-2012-06). — Moscow : NSI RAS, 2012. — 28 p. — Bibliogr.: 15 items.

GrayS program (Gamma-ray Source) for γ -source generation for given mixture of radionuclides, is presented. The calculations results of γ -sources and activity of spent fuel for BN and VVER-1000 reactors are discussed. The intercomparison of γ -radiation for isotopes (W^{188} , Np^{237} , Pu^{238} , Pr^{150} , Eu^{156} , Ra^{228} , Ru^{105}) are based on BROND-3/DD, ENDF/B-VII.0 and JEFF-3.1.1.

©Nuclear Safety Institute, 2012

Описание программного комплекса GrayS для формирования γ -источника

Блохин П.А., Митенкова Е.Ф.

ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ
115191, Москва, ул. Б. Тульская, 52
тел.: (495) 955-22-02, эл. почта: blokhin@ibrae.ac.ru

Содержание

1. Введение.....	3
2. Общая структура и взаимодействие модулей п/к GrayS.....	4
3. Входные данные и форматы модулей п/к GrayS	6
3.1. Модуль DECAУ.....	7
3.2. Модуль ACTIVITY.....	7
3.3. Модуль INTENSITY.....	8
3.4. Модуль SOURCE.....	8
3.5. Входные задания для работы модулей.....	8
4. Выходные данные и форматы выдачи п/к GrayS	8
4.1. Модуль DECAУ.....	8
4.2. Модуль ACTIVITY.....	9
4.3. Модуль INTENSITY.....	9
4.4. Модуль SOURCE.....	9
5. Примеры расчетов п/к GrayS.....	9
5.1. Расчет γ -источника ОТВС реактора БН.....	9
5.2. Расчет активности облученного топлива реактора БН.....	10
6. Краткое описание файлов оцененных ядерных данных	11
6.1. Сравнительный γ -спектр изотопа W^{188}	13
6.2. Сравнительные γ -спектры изотопов Np^{237} , Pu^{238} , Pr^{150} , Eu^{156} , Ra^{228} , Ru^{105}	14
7. Спектры γ -источника ОТВС.....	18
7.1. Сравнительные γ -спектры для ОТВС реактора БН.....	18
7.2. Сравнительные γ -спектры для ОТВС реактора ВВЭР-1000.....	20
8. Заключение	21
Литература.....	22
Приложение.....	23

1. Введение

Радиоактивные материалы представляют собой источники различного излучения, среди которых, одним из важнейших является γ -излучение [1]. Изучение прохождения γ -излучения в веществе важно при решении задач ядерно-радиационной безопасности связанных с обращением радиоактивных материалов — хранение радиоактивных отходов (РАО), переработка отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС) и др. Введение с 2009 года новых норм радиационной безопасности НРБ-99/2009 существенно повысило требование к допустимым уровням облучения персонала и ужесточило требование к знанию энергетических распределений источников γ -излучения. Поэтому для оценки ядерно-радиационной безопасности уточнение характеристик γ -излучения радиоактивных материалов заданного состава явля-

ется актуальной задачей. Для повышения предсказательной точности и надежности расчетов использованию современных ядерно-физических данных в расчетных методиках уделяется особое значение. Это позволяет осуществить соответствующую корректировку в инженерных расчетах.

В настоящее время существует ряд апробированных программных комплексов, использующих методы расчета Монте-Карло, которые позволяют рассчитывать параметры γ -излучения поверхностных и объемных источников различной геометрии (3D расчеты) для заданных композиций материалов. Программные комплексы, например **MCNP** [2], вычисляют различные функционалы, дающие количественные оценки прохождения нейтронного и γ -излучения через рассматриваемые среды. В таких расчетах задача адекватного описания источников γ -излучения является одной из ключевых.

Для уточняющих нейтронно-физических расчетов используются ядерно-физические данные из стандартных ENDF файлов оцененных ядерных данных [3-8]. Формирование файлов происходит на основе имеющейся экспериментальной информации, содержащейся в файле ENSDF [9], теоретических моделей и вычислительными процедурами оценки данных. Подготовлены электронные версии файлов оцененных ядерных данных, базирующихся на исследованиях спектроскопических характеристик радионуклидов. В настоящее время данные, сформированные на базе файлов ENDF/B-VII.0 [5] и JEFF-3.1.1 [7], широко применяются в США и Европе для решения различных задач в области ядерной энергетики. В России также используются данные файлов БРОНД, и в настоящее время апробируется новая версия файла БРОНД-3/DD [3].

Приведено описание п/к **GrayS** (Gamma-ray Source) [10-12], предназначенного для формирования γ -источника на основе заданного состава смеси радионуклидов. В п/к **GrayS** значения характеристик γ -излучения радионуклидов и распадных данных используются непосредственно из ENDF файлов. Такой подход позволяет гибко использовать всю полноту ядерных данных стандартных ENDF файлов (ENDF/B-VII.0, JEFF-3.1.1 и др) и их обновленных версий (ENDF/B-VII.1, JEFF-3.1.2, БРОНД-3/DD и др.) при сравнении γ -спектров. Модульная структура п/к **GrayS** позволяет его использовать при решении различных задач.

Описаны форматы входных-выходных данных модулей. Приведены примеры расчетов γ -источника для ОТВС реакторов БН и ВВЭР-1000 и сравнительные спектры γ -излучения для ряда изотопов.

В перспективе предполагается расширение функциональных возможностей п/к **GrayS** с подключением дополнительных модулей (расчет энерговыделения и др.) и сервисных возможностей.

Реализация п/к **GrayS** осуществлена на языке Fortran 90, компилятор Compaq Visual Fortran Version 6.6.

2. Общая структура и взаимодействие модулей п/к GrayS

Модульная структура п/к **GrayS** позволяет работать с каждым модулем отдельно и получать результаты работы каждого модуля при полной проработке программы. Каждый модуль использует свои входные-выходные данные и входной файл с инструкциями. Для работы комплекса в целом заложена возможность использования единого файла с инструкциями. На Рис.1 представлена схема взаимодействия модулей и входных-выходных данных комплекса.

Основные модули п/к **GrayS** включают:

- **DECAU** обрабатывает ENDF файлы оцененных ядерных данных представленных в формате *endf-6* и формирует файл с распадными характеристиками.
- **ACTIVITY** выполняет расчет активности и мощности дозы для заданного изотопного состава.
- **INTENSITY** обрабатывает ENDF файлы оцененных ядерных данных, представленные в формате *endf-6* и формирует файл с данными по интенсивности γ -квантов.
- **SOURCE** формирует γ -источник, на основе выходных данных модулей **ACTIVITY** и **INTENSITY**.

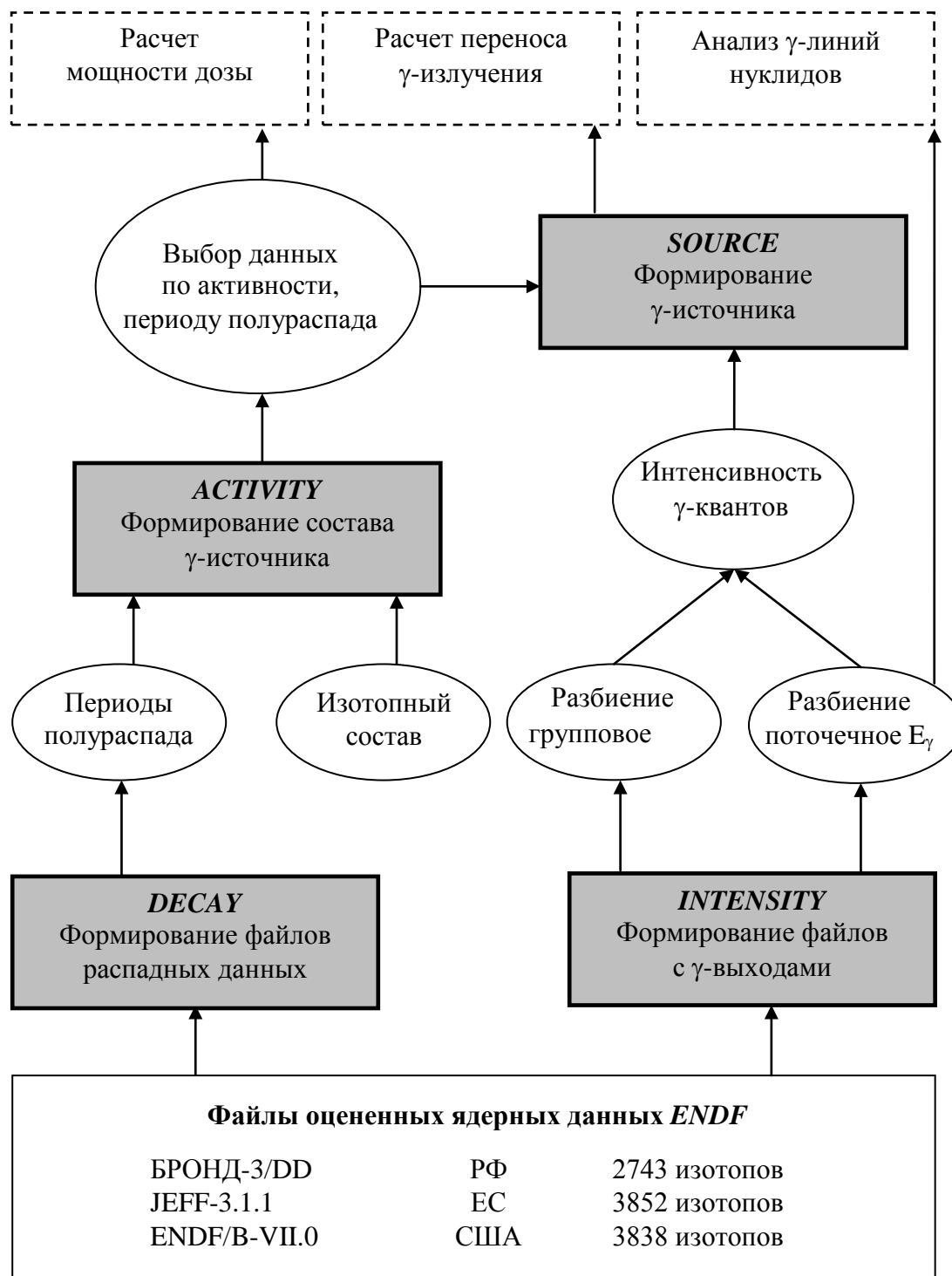


Рис. 1 Схема взаимодействия модулей GrayS

Модуль **DECAU** использует следующие входные данные — файлы оцененных ядерных данных, представленных в формате *endf-6*, из которых модуль формирует файлы с периодами полураспада.

Модуль **ACTIVITY** использует следующие входные данные — параметры изотопного состава рассматриваемого материала и файл с распадными характеристиками, которые задаются в формате, описанном в разделе 3. По умолчанию этот модуль настроен на форматы выходных данных программы

ORIGEN [13] и модуля **DECAY**. Также предусмотрена возможность задания входных данных в соответствии с форматом, описанным в разделе 3.

В модуле **ACTIVITY** предусмотрена функция выбора изотопов по двум параметрам. По периоду полураспада и активности. Это позволяет произвести сравнение с результатами инженерных программ, которые используют заведомо меньшее количество изотопов при проведении расчетов. Также использование этой функции позволяет выбрать только радиоактивные изотопы и не учитывать в дальнейшей работе стабильные изотопы, так как они не важны в решении задачи расчета γ -источника. Выбор изотопов по активности или периоду полураспада также важен с точки зрения экономии времени и ресурсов.

Модуль **INTENSITY** использует следующие входные данные — файлы оцененных ядерных данных формата *endf-6*, из которых формируются данные по интенсивности γ -квантов (оригинальные и нормированные на один распад) всех изотопов содержащихся в исходных файлах. Формирование интенсивности γ -квантов может быть представлено в заданном энергетическом или в поточечном разбиениях. Если энергетическое разбиение не задано, то формируется файл в поточечном представлении. Разбиение энергии по группам полезно в первую очередь для задач, в которых рассматривается γ -источник с большим количеством γ -линий. В этом случае идет усреднение всех попавших в энергетический интервал интенсивностей и видна картина γ -излучения в целом, тогда как в поточечном варианте на графике будет очень большое количество γ -линий и будет сложно разобраться в этом изобилии. Выборка интенсивностей в поточечном разбиении представляет собой интерес для ряда практических задач, таких как сравнение с экспериментальными данными детекторов, анализа изотопного состава источника для γ -спектроскопии, так называемые γ -анализаторы, и др.

Модуль **SOURCE** использует следующие входные данные — интенсивность γ -линий (выходные данные модуля **INTENSITY**) и изотопный состав (выходные данные модуля **ACTIVITY**). Представление формируемого γ -источника может быть в поточечном или групповом виде, что зависит от выходных параметров модуля **INTENSITY**. В случае, когда задано энергетическое разбиение, в выходной файл будет содержать информация о групповой структуре, интенсивности γ -линий на 1 распад и с нормировкой на единицу. Нормировка на единицу позволяет оценить различия между интенсивностями разных источников или одного и того же источника для разных исходных файлов оцененных ядерных данных.

3. Входные данные и форматы модулей п/к GrayS

Программный комплекс **GrayS** работает по заданным входным инструкциям. Файл с инструкциями, файл с изотопным составом, файлы оцененных ядерных данных и другие входные файлы должны находиться в одной директории. Формирование всех выходных файлов также будет в этой директории. Для удобства все итоговые выходные файлы с расширением “out”, все промежуточные файлы с расширением “tmp”, а инструкции с расширением “inp”. Задание всех входных инструкций для работы п/к **GrayS** в файле **TASK.INP** (см. Приложение). Файл имеет следующие позиции:

1 СТРОКА: Информационная строка, содержащая название задачи, комментарии и т.д. Данная строка читается программой и далее выводится в шапке выходного файла, поэтому целесообразно записывать в ней информацию о решаемой задаче.

Далее в любом порядке, но в строгом **формате** записываются входные инструкции. Существует ряд правил задания имен входных файлов. Длина имен всех входных файлов должна содержать не более чем 15 символов. После ключевого слова, описывающего тип входного файла, и знака «:», везде обязателен пробел, далее имя входного файла. Файл с инструкциями может также содержать стороннюю информацию, комментарии и прочее не в строке с ключевыми словами, и это не помешает обработки файла при работе программы.

- Ключевое слово для указания имени файлы с распадными данными:
DECAY: <Имя файла>.
- Ключевое слово для указания имени файла оцененных ядерных данных:
ENDF6_LIB: <Имя файла>.
- Ключевое слово для указания имени файла с групповым распределением по энергии:
E_GROUP: <Имя файла>.

- Ключевое слово для указания имени обрабатываемого файла в формате выхода программы **ORIGEN** или пользовательского файла с изотопным составом и концентрациями:

ORIG: <Имя файла>.

- Ключевое слово для указания параметра выборки по активности:

ACTIVITY: <NN.N>.

Параметр выборки задается числом в процентах.

- Ключевое слово для указания параметра времени по периоду полураспада:

T1/2: <NN>.

Значение периода полураспада задается в секундах.

3.1. Модуль DECAУ

Входными данными модуля является файл оцененных ядерных данных (формат *endf-6*), имя которого задается во входной инструкции меткой **ENDF6_LIB**.

3.2. Модуль ACTIVITY

Входными данными для модуля являются:

1. Файл со списком изотопов и их концентрациями. Модуль обрабатывает файл, который задан во входной инструкции с меткой **ORIG**. По умолчанию, модуль настроен на обработку файлов в формате выхода программы **ORIGEN**, но пользователь может задать собственный файл, в соответствии с форматом:

```
ZZAAAI c.ccccE±NN
ZZAAAI c.ccccE±NN
...
ZZAAAI c.ccccE±NN>
```

здесь:

ZZ – порядковый номер нуклида;

AAA – Z+N (массовое число нуклида);

I – показатель состояния нуклида (0 – основное, 1 - метастабильное);

c.ccccE±NN – значение концентрации нуклида. Размерность [г].

2. Процент выборки изотопов по активности (необязательно), который задается во входной инструкции меткой **ACTIVITY**.

3. Значение периода полураспада (необязательно), по которому будет делаться выборка изотопов. Задается во входной инструкции меткой **T1/2**.

4. Файл с распадными характеристиками изотопов, имя которого задается во входной инструкции с меткой **DECAУ**. Данный файл (см. Приложение), по умолчанию, получается в процессе работы модуля **DECAУ**, но пользователь может задать свой файл, в соответствии с форматом:

[1 строка] Информационная строка.

[2 строка – Обозначения] **Z A Is [S]**

[3 строка – Данные по изотопу и периоду полураспада] **ZZZAAAI c.cccE±NN**

...

[n строка – правая граница интервала] **ZZZAAA c.cccE±NN**

здесь:

ZZZ – порядковый номер элемента;
AAA – массовое число элемента;
I – состояние ядра (основное или метастабильное)
c.cccE±NN – значение периода полураспада. Размерность [с].

3.3. Модуль INTENSITY

Входными данными для модуля являются:

1. Файл оцененных ядерных данных (формат *endf-6*), имя которой задается во входной инструкции меткой **ENDF6_LIB**;

2. Файл с групповым распределением, имя которого задается во входной инструкции меткой **E_GROUP**. Файл с данными по энергетическому разбиению (см. Приложение) должен быть записан в формате:

[1 строка] Информационная строка.
[2 строка – количество групп] **MMM**
[3 строка – правая граница интервала] **NNN.nnn**

...

[n строка – правая граница интервала] **NNN.nnn**

здесь:

MMM – число групп;

NNN – значение энергии. Размерность [МэВ].

3.4. Модуль SOURCE

Входными данными для модуля являются выходные данные модулей **ACTIVITY** и **INTENSITY**. В случае если в модуль **ACTIVITY** не было задано дополнительных параметров (процент выборки или период полураспада), то выбирается файл, который содержит все изотопы.

3.5. Входные задания для работы модулей

В различных прикладных задачах не стоит вопрос о формировании γ -источника, но нужны характеристики γ -линий в разных представлениях или стоит задача расчета мощности дозы источника. Для этих целей в п/к **GrayS** предусмотрена автономная работа каждого модуля со своими входными файлами. Примеры таких инструкций есть в Приложении.

4. Выходные данные и форматы DECAY, ACTIVITY, INTENSITY, SOURCE

В процессе работы п/к **GrayS** происходит формирование выходных файлов. Файл с расширением «out» является основным итоговым файлом, который содержит информацию о характеристиках γ -источника. Данные представлены в виде таблицы, слева интервал энергии в МэВ, по центру столбец со значениями по интенсивности на один распад, справа значения по интенсивности нормированные на единицу. Файл с расширением «tmp» содержит выходную информацию по всем модулям программы. Примеры таких файлов приведены в Приложении.

4.1. Модуль DECAY

В результате работы происходит формирование файла с данными по периодам полураспада всех изотопов, содержащихся в библиотеке. Пример такого файла содержится в Приложении. Модуль может использоваться автономно от комплекса, для формирования файлов с распадными характеристиками.

4.2. Модуль ACTIVITY

При работе модуля происходит формирование файлов:

1. Activity.out – файл с данными по изотопам и их активности, а также данные по мощности дозы, с учетом процента выборки по активности или выборки по периоду полураспада (если процент или период полураспада не указаны, то расчет мощности идет по всем изотопам).

2. Activity.tmp – расширенный файл, который содержит информацию о каждом выполняемом действии программы, а также содержит итоговые данные по изотопам и их активности и данные по мощности дозы всей задаваемой смеси.

Примеры файлов приведены в Приложении.

При работе п/к **GrayS** в дальнейшую обработку идет файл Activity.out. Исходя из его данных строится γ -источник. Файл Activity.tmp является более расширенной версией файла «out» и содержит в себе информацию о всех изотопах.

4.3. Модуль INTENSITY

В результате работы модуля происходит формирование файлов:

1. Gamma_gro.out – файл с данными по интенсивностям γ -квантов по всем изотопам в групповом (при условии задания энергетического разбиения) виде.

2. Gamma_dsk.out – файл с данными по интенсивностям γ -квантов по всем изотопам в поточечном представлении.

Примеры таких файлов приведены в Приложении.

Для формирования γ -источника используется файл с групповым распределением.

4.4. Модуль SOURCE

В результате работы модуля происходит формирование файлов:

1. Файл Source.out с характеристиками γ -источника, а также с описанием исходных данных. В нем указываются энергетические интервалы, заданные пользователем для формирования источника.

2. Source.tmp служит для более детального анализа полученных данных и содержит в себе более полное и подробное описание γ -источника.

Примеры этих файлов приведены в Приложении.

5. Примеры расчетов п/к GrayS

5.1. Расчет γ -источника ОТВС реактора БН

Расчет γ -источника с помощью п/к **GrayS** начинается с заполнения файла-инструкции **TASK.INP**. Необходимо определить параметры выборки для модуля **ACTIVITY** и при необходимости создать файл с энергетическим разбиением для модуля **INTENSITY**. Все входные файлы и программа должны находиться в одной директории. На примере расчета γ -источника ОТВС реактора БН, в этом разделе приведены этапы, которые необходимо выполнить пользователю для решения задачи.

Пример заполнения входного файла инструкции:

Расчет гамма-источника

DECAY: T1/2.inp

ENDF6_LIB: jeff31.dd, endfb7.dd

E_GROUP: Energy.inp

ORIG: TAPE7_4.OU1

ACTIVITY: 95.1 /необязательный/

GrayS.exe

здесь используется:

1. Файл с распадными характеристиками с именем «T1/2.inp».
2. Файл оцененных ядерных данных в формате *endf-6* с именами «jeff31.dd» и «endfb7.dd». Файл оцененных ядерных данных, в данном примере, ENDF/B-VII.0 и JEFF-3.1.1 (см. раздел 6).
3. Файл с групповым разбиением с именем «Energy.inp».
4. Файл с данными по изотопам с именем «TAPE7_4.OU1». Здесь исходными данными по изотопному составу являются выходные данные **MCNP-MONTEBURNS-ORIGEN** [14].
5. Выборка по изотопам здесь задана по проценту вклада в активность – 95.1 %.

Примеры всех входных файлов приведены в Приложении.

После того, как полностью сформирован файл с входными инструкциями необходимо запустить п/к **GrayS**. В случае неправильного задания входных инструкций или неправильных входных данных выводится сообщение об ошибке. В результате работы программы формируются два файла - Source.out и Source.tmp (см. Приложение).

В результате работы указанных модулей формируется γ -источник, который можно использовать для решения различных прикладных задач.

5.2. Расчет активности облученного топлива реактора БН

В задачах, где необходимо рассчитать активность и мощность дозы источника используется модуль **ACTIVITY**. Все форматы входных-выходных файлов аналогичные, что и при работе п/к **GrayS** в целом. В директории должны быть следующие файлы:

TASK.inp – файл с инструкциями.

Файл с изотопным составом, составленный в соответствии с форматом.

Файл с распадными характеристиками, составленный по жесткому формату.

Пример файла **TASK.inp**:

Расчет активности источника

ORIG: Tape07.ou1

T1_2: 1 /необязательный/

DECAY: T1/2.inp

ACTIVITY: 95 /необязательный/

Activity.exe

здесь используется:

1. Файл с данными по изотопам с именем «TAPE7_4.OU1».
2. Файл с распадными характеристиками с именем «T1/2.inp».
3. Выборка по изотопам здесь задана по двум параметрам:
 - проценту вклада в активность – 95 %
 - по периоду полураспада – 1 секунда.
4. Выборка по активности и периоду полураспада.

На выходе формируются два выходных файла:

1. Activity.out – выборка нуклидов по периоду полураспада или активности.
2. Activity.tmp – выходной файл с расширенными данными по нуклидам.

6. Краткое описание файлов оцененных ядерных данных

В настоящее время в мире существует несколько полнообъемных файлов оцененных ядерных данных по радиационным характеристикам радионуклидов. Эти файлы разработаны и созданы в рамках национальных программ по ядерным данным и широко используются в практических расчетах различных ядерных установок. Основные файлы: БРОНД-3/DD [3], ENDF/B-VI.8 [4], ENDF/B-VII.0 [5], EAF-99/DECAY [6], JEFF-3.1.1 [7], JENDL FP Decay Data File 2000 [8], которые представлены в международных и национальных базах ядерных данных, созданных в России, США, Европе, Японии и др.

В период 1980-90-х годов одним из наиболее используемых файлов ядерно-физических данных был ENDF/B-VI.8. В настоящее время вышли и широко используются версии - ENDF/B-VII.0 и ENDF/B-VII.1. В Европе создан компиляционный файл JEFF-3.1.1 (дорабатывается JEFF-3.1.2), а также EAF-99/DECAY по распадным данным. В России, в Центре ядерных данных (г.Обнинск, ФЭИ) сформирован файл оцененных ядерных данных БРОНД-3/DD, который проходит апробацию.

Указанные файлы рекомендованы как наиболее достоверные и могут быть доступны через международную сеть Центров ядерных данных. В Таблице 1 представлены основные сведения по нуклидному содержанию этих файлов.

Таблица 1. Составы файлов оцененных ядерных данных по радиационным параметрам радионуклидов

Название файла	Количество нуклидов в файле	Область элементов и их изотопов, включенных в файл
БРОНД-3/DD	2743	1-H-1 →84-Po-210
ENDF/B-VI.8	979	1-H-3 →99-Es-253
ENDF/B -VII.0	3838	1-H-1 →111-Rg-283
JEFF-3.1.1	3852	1-H-1 →111-Rg-272
EAF-99/DECAY	1917	1-H-1 →100-Fm-258 ($T_{1/2}>12h$)
JENDL/FP-DD	1229	23-V-66→70-Yb-172
NUDAT=ENSDF	3119	1-H-1 →120-&&-299

При создании современных файлов оцененных ядерных данных по радиационным характеристикам широко применяется файл ENSDF (Evaluated Nuclear Structure Data File), содержащий экспериментальную информацию по спектроскопическим характеристикам радиоактивных и стабильных ядер.

Для различных прикладных задач, например, в детекторных, спектроскопия с γ -анализом и др. требуются данные о γ -излучении отдельных ядер. На примере ядра Pu^{238} на Рис.2 показан α -распад сопровождающийся γ -излучением. Данная схема построена на основе данных файла ENSDF.. Схема распада взята с сайта Национального Ядерного Центра Брукхейвенской Национальной Лаборатории (National Nuclear Data Centre Brookhaven Nationality Laboratory) [9]. Здесь горизонтальные линии обозначают уровень возбуждения ядра, а вертикальными линиями показаны переходы с одного уровня на другой сопровождающиеся γ -излучением.

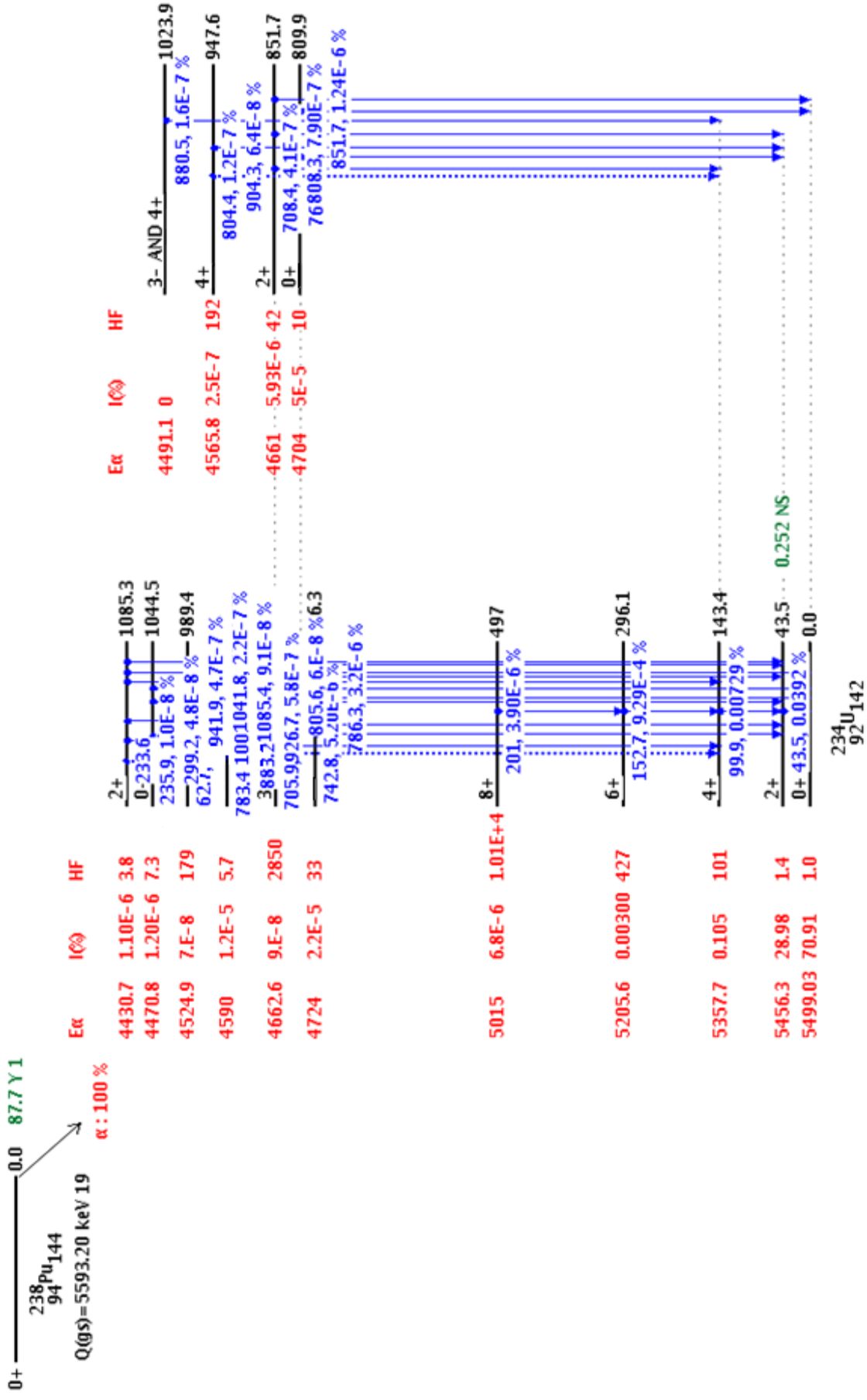


Рис. 2 Схема α -распада Pu^{239}

6.1. Сравнительный γ -спектр изотопа W^{188}

Файлы радиационных характеристик радиоактивных ядер должны включать, как минимум, следующую информацию:

- периоды полураспада ядра;
- виды (каналы) радиоактивного распада;
- интенсивности и энергии β^+ и β^- и т.п. переходов, при которых происходит трансмутация исходного ядра в дочернее;
- энергии и интенсивности γ -квантов, с помощью которых происходит снятие возбуждения в дочернем ядре.

Российский файл распадных данных БРОНД-3/DD сформирован на основе критического анализа и отбора данных, представленных в международных и национальных файлах оцененных ядерных данных [4-8]. БРОНД-3/DD включает 2743 набора данных для элементов и их изотопов от водорода () до полония (). При формировании БРОНД-3/DD были учтены новейшие рекомендованные данные, вошедшие в файл ENSDF.

В Таблице 2 в качестве примера представлены данные по выходу γ -квантов при β^- -распаде изотопа W^{188} , содержащиеся в файле БРОНД-3/DD в сравнении с данными из других файлов.

Таблица 2. Сравнение распадных данных для изотопа W^{188} для различных файлов.

БРОНД-3/DD		ENDF/B-VII.0		JEFF-3.1.1		EAF-2001	
E_γ , КэВ	I_γ , 1/расп	E_γ , КэВ	I_γ , 1/расп	E_γ , КэВ	I_γ , 1/расп	E_γ , КэВ	I_γ , 1/расп
8.65	0.144						
59.718	0.050						
61.141	0.085						
63.58	0.109	63.58	0.10854	63.58	0.10854	63.58	0.145
68.995	0.0098						
69.309	0.019						
71.195	0.0066						
85.31	0.0024	85.31	0.0024120	85.31	0.002412	85.32	0.00268
105.85	6.E-4			105.85	6.03E-04		
141.78	0.0064	141.78	0.006432	141.78	0.006432	141.76	0.0086
207.86	0.0080	207.86	0.00804	207.86	0.00804	207.86	0.0107
227.09	0.221	227.09	0.2211	227.09	0.2211	227.08	0.296
290.669	0.402	290.67	0.402	290.67	0.402	290.67	0.537

Для данных Таблицы 2 построен график спектра γ -излучения для ядра W^{188} .

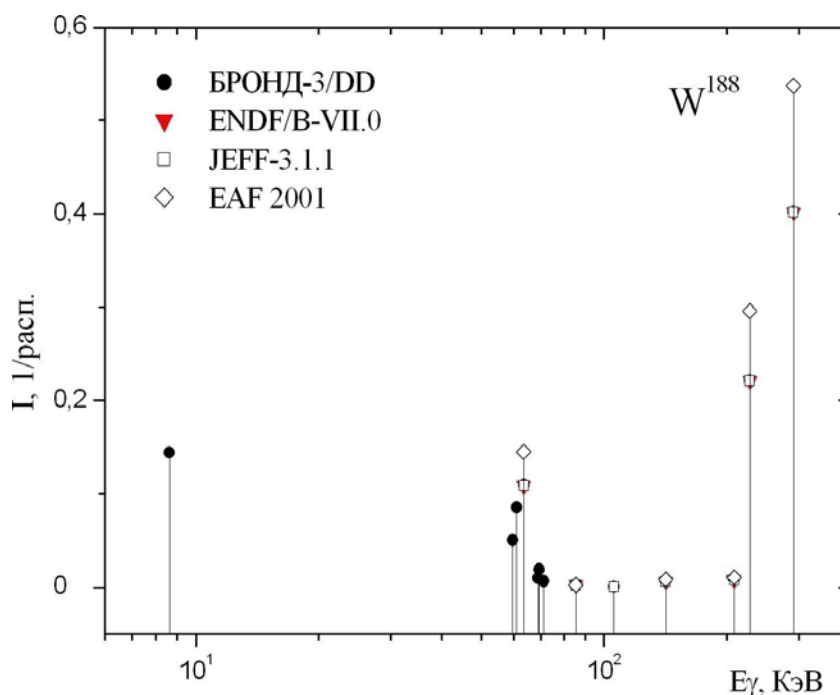


Рис.3 Спектр γ -излучения W^{188} для БРОНД-3/DD, ENDF/B-VII.0, JEFF-3.1.1 и EAF 2001

Видно, что в файле БРОНД-3/DD содержатся более полные данные по интенсивностям γ -квантов для ядра W^{188} , чем ENDF/B-VII.0, JEFF-3.1.1 и EAF 2001.

6.2. Сравнительные γ -спектры изотопов Np^{237} , Pu^{238} , Pr^{150} , Eu^{156} , Ra^{228} , Ru^{105}

Существует несколько групп элементов (например, редкоземельные, актиниды и др.) которые оказываются значимыми при решении задач с источником. На примере изотопов редкоземельной группы Pr^{150} и Eu^{156} , актинидов Np^{237} и Pu^{238} , а также изотопов Ru^{105} и Ra^{228} проведен сравнительный анализ γ -спектров на основе данных из ENDF/B-VII.0 и JEFF-3.1.1. В Таблице 3 показано наличие данных по нуклидам в файлах. На Рис.4-9 показаны наиболее выраженные отличия в интенсивности и энергии γ -излучения представленного в файлах.

Таблица 3 Сравнительные данные по нуклидам для ENDF/B-VII.0 и JEFF-3.1.1.

Элемент	ENDF/B-VII.0	JEFF-3.1.1
	Изотопы	
Ru	93, 94, 95, 97, 103, 103M, 105, 107, 109, 110, 113	93, 94, 95, 97, 103, 103M, 105, 107, 109, 110, 113
Pr	128, 136, 137, 138, 138M, 139, 140, 142, 144, <u>145*</u> , 150, 152	128, <u>134</u> , 136, 137, 138, 138M, 139, 140, 142, 144, <u>144M</u> , <u>146</u> , <u>148</u> , <u>148M</u> , <u>149</u> , 150, 152
Eu	140, 141, 142, 142M, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 152, 152M, 154, 154M, 155, 156, 157, 159	<u>136</u> , 140, 141, 142, 142M, 143, 144, 145, 146, 147, 148, <u>149</u> , <u>150</u> , <u>150M</u> , 152, 152M, 154, 154M, 155, 156, 157, <u>158</u> , 159
Ra	213M, 219, 220, <u>221</u> , 222, 223, 224, 225, 226, <u>227</u> , 228	213M, 219, 220, 222, 223, 224, 225, 226, 228
Np	232, 233, 234, 237, 238, 239, 241, 242	232, 233, 234, <u>235</u> , <u>236</u> , <u>236M</u> , 237, 238, 239, <u>240</u> , <u>240M</u> , 241, 242
Pu	<u>235</u> , 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246	236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246

* - Выделенные изотопы содержатся только в данном файле и отсутствуют в другом.

На Рис.4 приведен спектр γ -излучения изотопа Np^{237} . Существует различие в значении интенсивности в одной из основных γ -линий, а также файл ENDF/B-VII.0 содержит данные по большему количеству γ -квантов.

На Рис.5 показан спектр γ -излучения изотопа Pu^{238} . На графике видно четыре ярко-выраженные γ -линии в интервале энергий $10^4 < E < 5 \cdot 10^5$ эВ, которые содержатся только в JEFF-3.1.1.

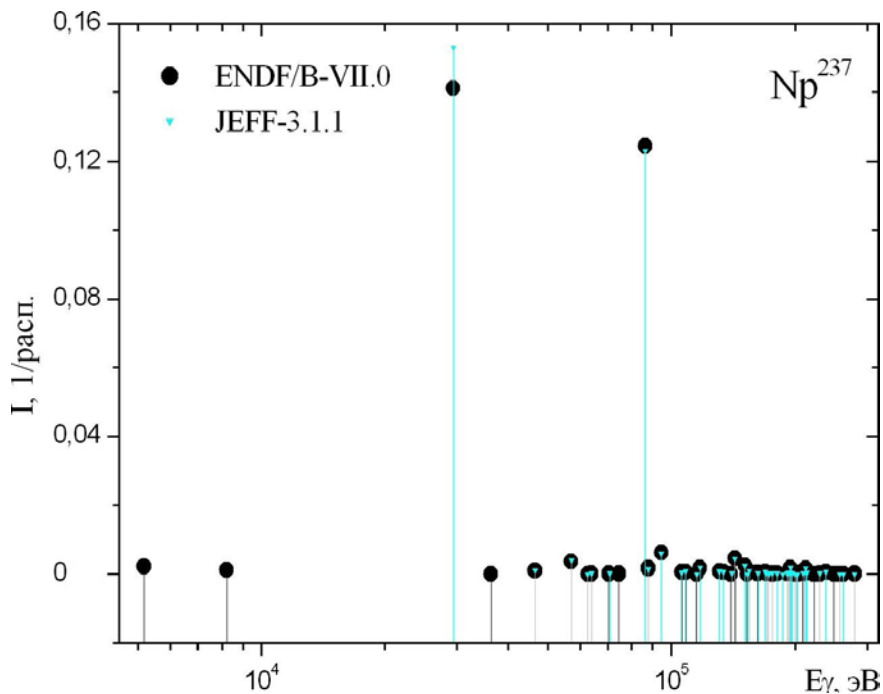


Рис.4 Спектр γ -излучения Np^{237} для ENDF/B-VII.0 и JEFF-3.1.1

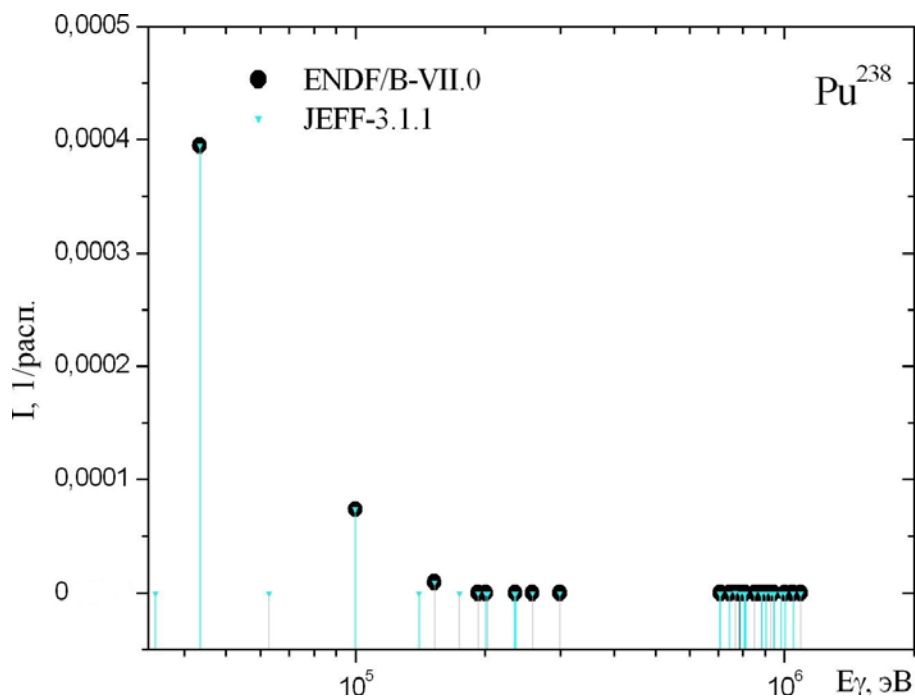


Рис.5 Спектр γ -излучения Pu^{238} для ENDF/B-VII.0 и JEFF-3.1.1

На Рис.6 показан спектр γ -излучения изотопа Pr^{150} . Наблюдается расхождение в данных по наиболее интенсивным γ -линиям на ~10-15 %.

На Рис.7 приведен спектр γ -излучения изотопа редкоземельного Eu^{156} . В диапазоне энергий $10^5 < E < 10^6$ эВ в ENDF/B-VII.0 содержится большее количество γ -линий, чем в JEFF-3.1.1.

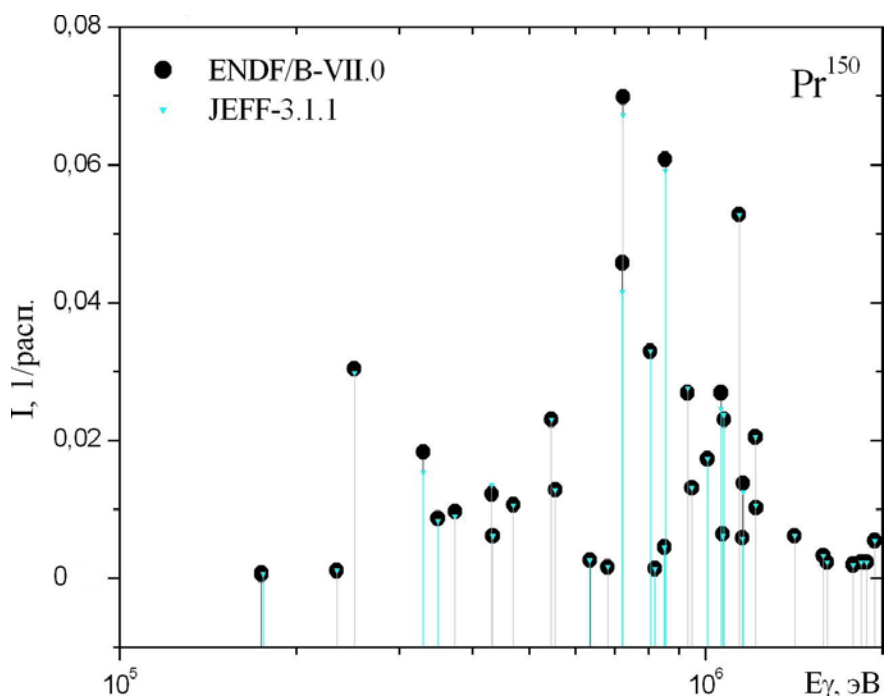


Рис.6 Спектр γ -излучения Pr^{150} для ENDF/B-VII.0 и JEFF-3.1.1

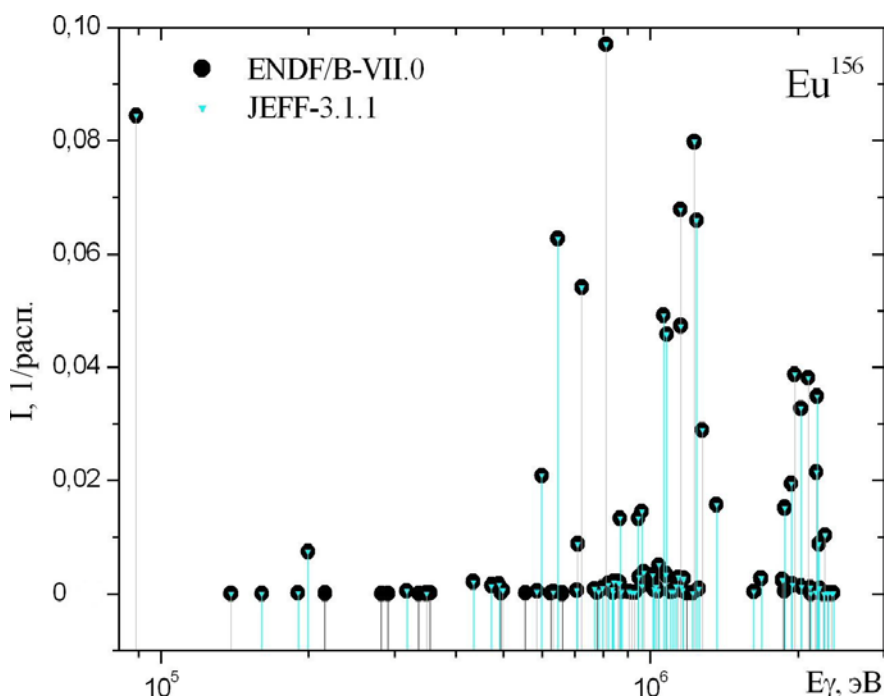


Рис.7 Спектр γ -излучения Eu^{156} для ENDF/B-VII.0 и JEFF-3.1.1

На Рис.8 показан спектр γ -излучения изотопа Ra^{228} . По основной γ -линии данные по интенсивности в файлах сильно отличаются. Также JEFF-3.1.1 содержит несколько γ -линий отсутствующих в ENDF/B-VII.0.

На Рис.9 приведен спектр изотопа Ru^{105} . В спектре видно γ -линию с энергией $\sim 1.5 \cdot 10^5$ эВ, которая содержится только в файле ENDF/B-VII.0.

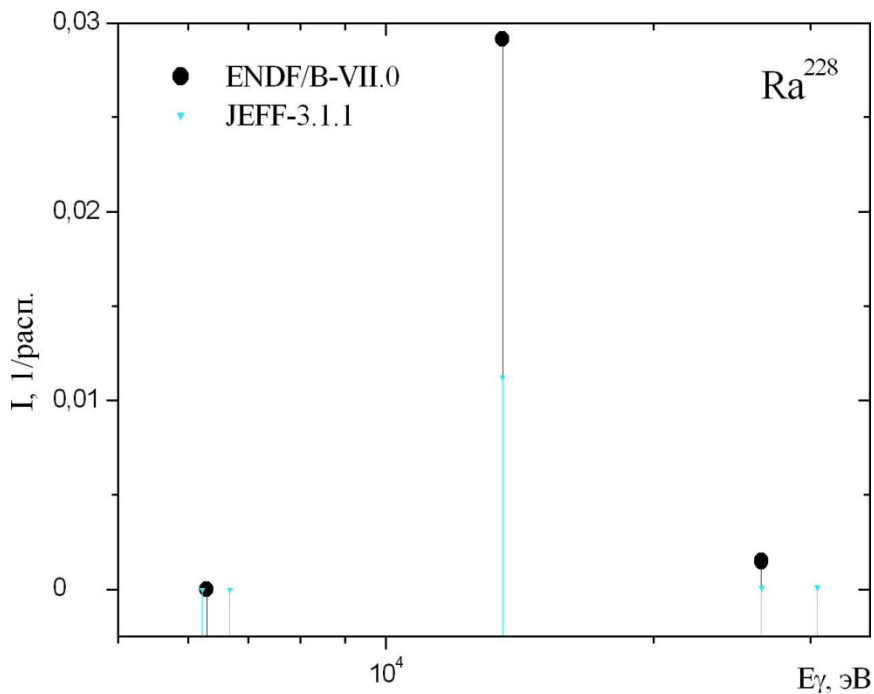


Рис.8 Спектр γ -излучения Ra^{228} для ENDF/B-VII.0 и JEFF-3.1.1

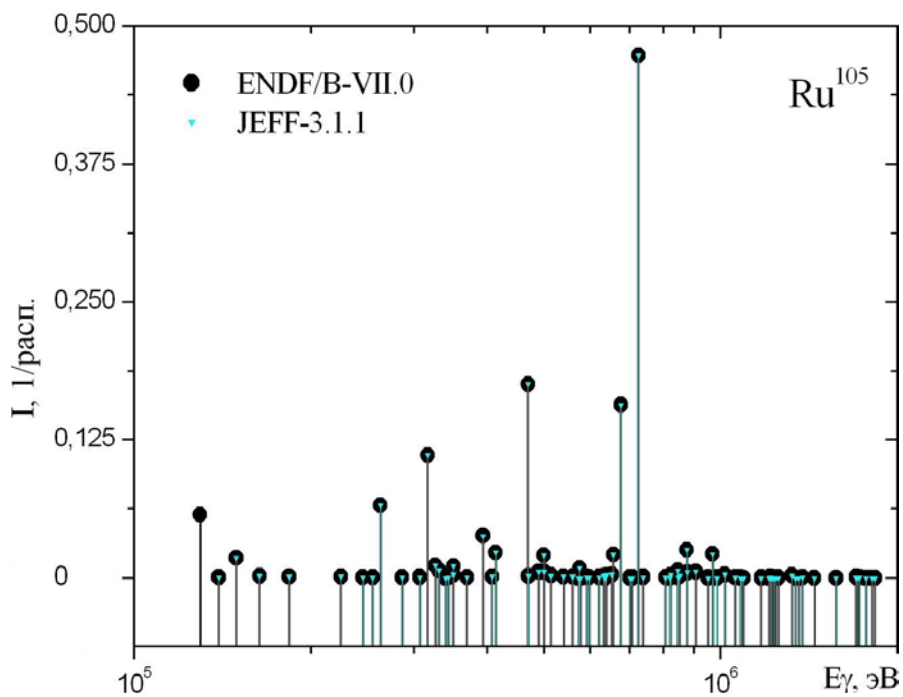


Рис.9 Спектр γ -излучения Ru^{105} для ENDF/B-VII.0 и JEFF-3.1.1

Сравнительный анализ приведенных спектров γ -излучения показывает существование отдельных γ -линий в ENDF/B-VII.0 и их отсутствие в JEFF-3.1.1 и наоборот. Такие расхождения в интенсивности γ -линий в файлах следует принимать во внимание при решении задач с ОТВС. Особенно важно это становится при γ -анализе состава облученных материалов и решении специализированных задач с использованием детекторов. При этом п/к **GrayS** позволяет использовать ядерные данные из постоянно обновляемых и уточняемых стандартных ENDF файлов.

7. Спектры γ -источника ОТВС

Для наглядного отображения полученных результатов п/к **GrayS** построены γ -спектры на базе графического пакета «Origin6.0» [15]. Для сравнения результатов использованы ENDF/B-VII.0 и JEFF-3.1.1, так как файлы оцененных ядерных данных содержат разное количество данных по изотопам и для некоторых нуклидов разные данные по γ -линиям. Построены сравнительные γ -спектры для одной ОТВС с UO_2 топливом реактора БН. Чтобы показать изменение γ -источника с выгоранием топлива, произведены расчеты и построены γ -спектры для одной ОТВС при разном выгорании. Чтобы показать изменение γ -источника при выдержке отработавшего топлива, построены γ -спектры для ОТВС с UO_2 топливом реактора ВВЭР-1000 при разном времени выдержки.

7.1. Сравнительные γ -спектры для ОТВС реактора БН

На Рис.10-11 приведены сравнительные спектры γ -излучения, полученные для одной ОТВС реактора БН при выгорании $B_1=3.23$ и $B_2=148.25$ МВт-сут/кг, для разных ENDF файлов.

На Рис.12 показаны спектры γ -источника для ОТВС реактора БН при разном выгорании для ENDF/B-VII.0.

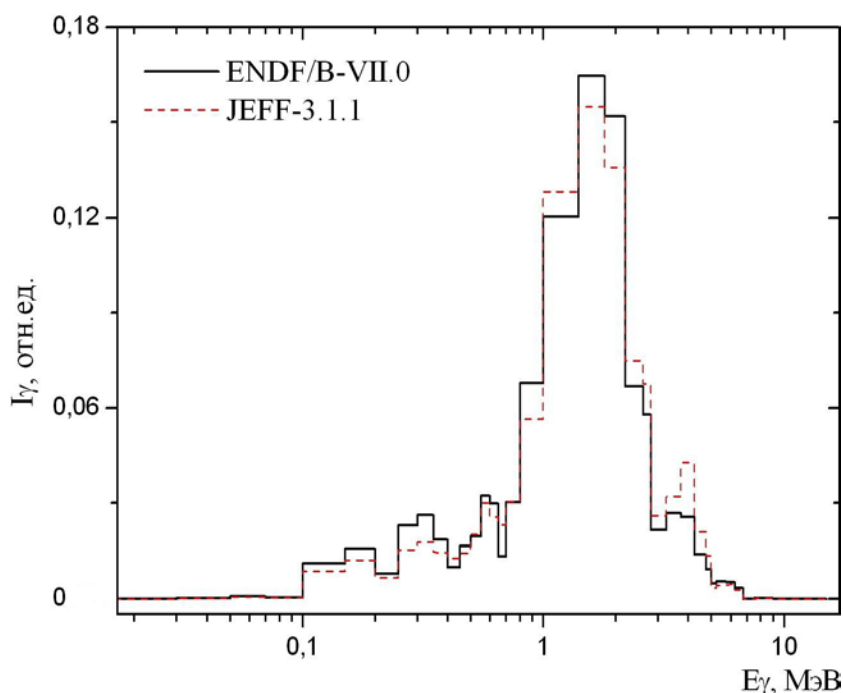


Рис.10 Сравнительные γ -спектры ОТВС реактора БН с UO_2 топливом при выгорании 3.23 МВт сут/кг для ENDF/B-VII.0 и JEFF-3.1.1.

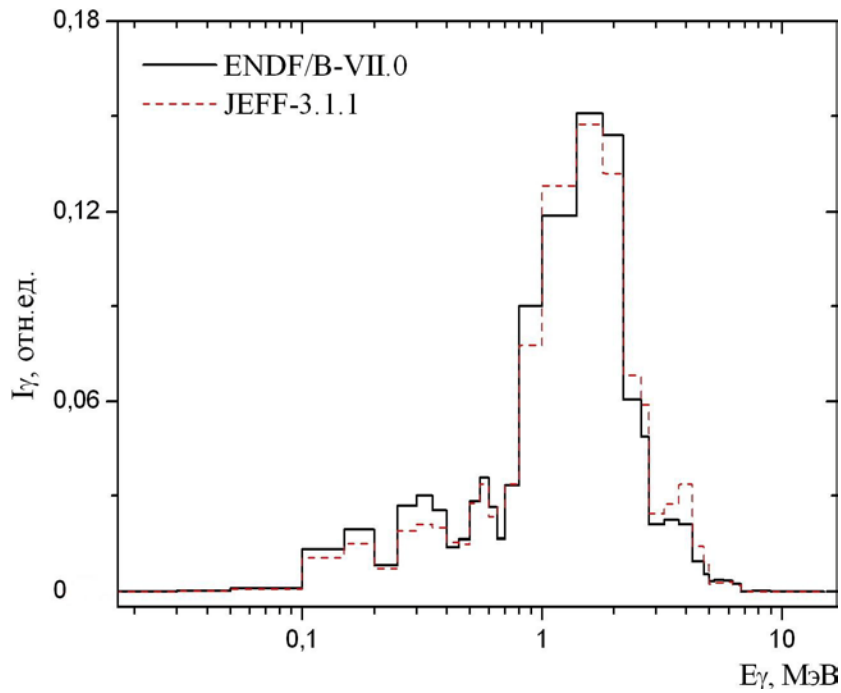


Рис.11 Сравнительные γ -спектры ОТВС реактора БН с UO_2 топливом при выгорании 148.25 МВт сут/кг для ENDF/B-VII.0 и JEFF-3.1.1.

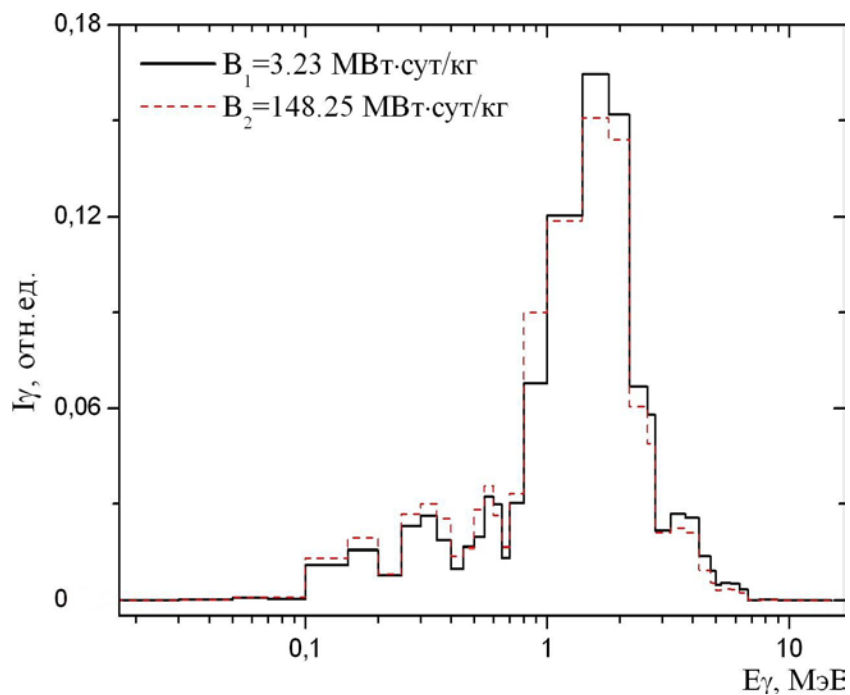


Рис.12 Сравнительные γ -спектры ОТВС реактора БН с UO_2 топливом для ENDF/B-VII.0

На Рис.10-12 представлены γ -спектры ОТВС с UO_2 топливом реактора БН при разных значениях выгорания. На Рис.10-11 в интервале энергий $0.1 < E < 8$ МэВ наблюдаются значительные отличия в значениях интенсивности для разных ENDF файлов. На Рис.12 при низких энергиях $0 < E < 0.1$ МэВ и высоких энергиях $8 < E < 13$ МэВ значение интенсивности γ -источника не изменяется и практически равно нулю. Также незначительные изменения γ -спектров наблюдаются в области $1 < E < 1.5$ МэВ.

7.2. Сравнительные γ -спектры для ОТВС реактора ВВЭР-1000

Для реактора ВВЭР-1000 проведены расчеты изотопного состава ОТВС с UO_2 топливом для выгорания 61.1 МВт·сут/кг и разного времени выдержки, с помощью MCNP-MONTEBURNS-ORIGEN. Для изотопного состава сформирован γ -источник для разного времени выдержки $T_1=10$ сут, $T_2=100$ сут, $T_3=1$ год, $T_4=10$ лет. На Рис. 13-14 представлены γ -спектры источника для разных ENDF файлов.

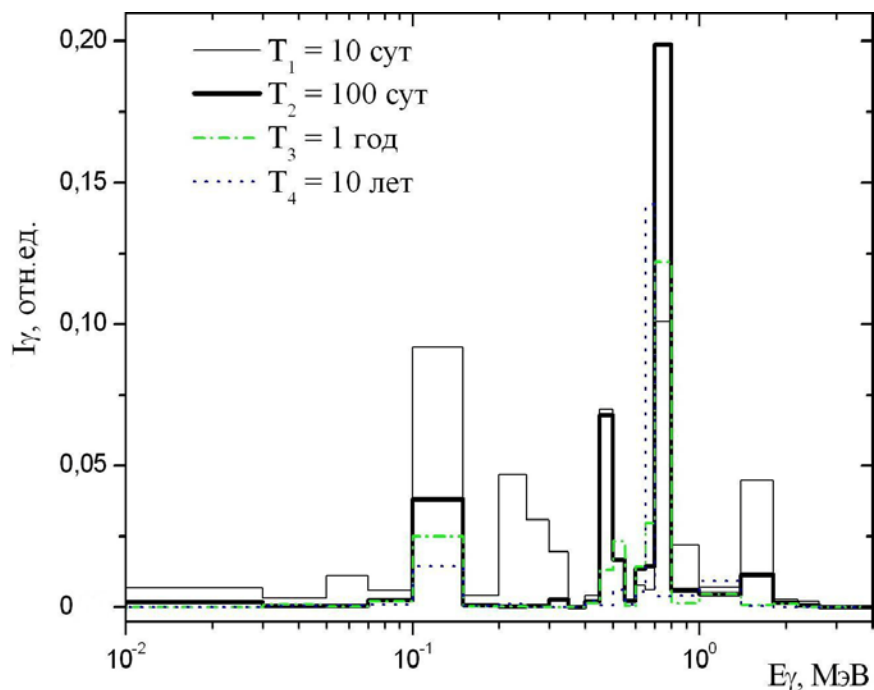


Рис.13 Сравнительные γ -спектры ОТВС реактора ВВЭР-1000 с UO_2 топливом при выдержке 10, 100 суток и 1, 10 лет для ENDF/B-VII.0

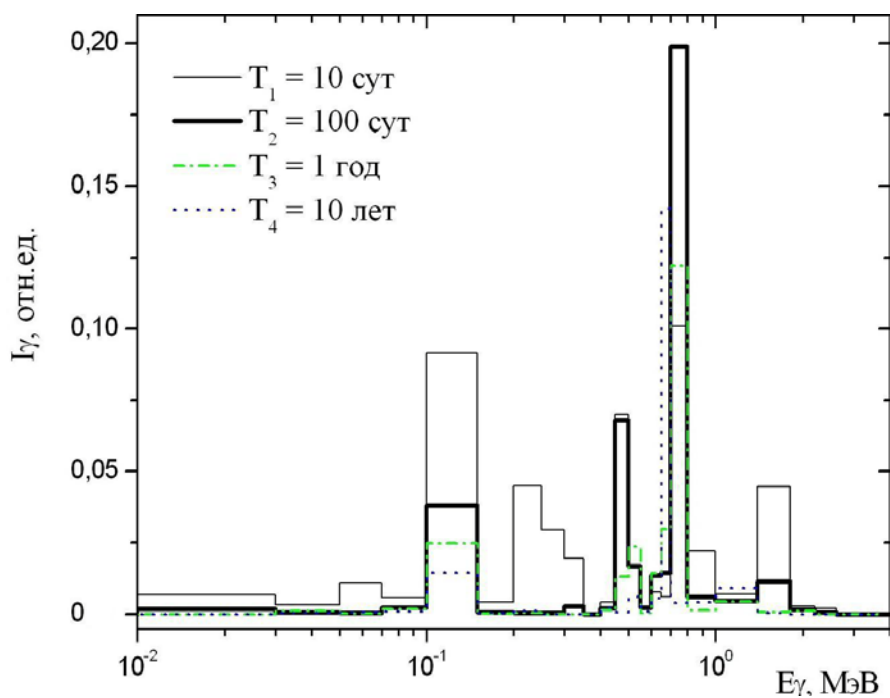


Рис.14 Сравнительные γ -спектры ОТВС реактора ВВЭР-1000 с UO_2 топливом при выдержке 10, 100 суток и 1, 10 лет для JEFF-3.1.1

На Рис.13-14 приведены γ -спектры ОТВС с UO_2 топливом реактора ВВЭР-1000 для разного времени выдержки. При энергиях $0 < E < 0.1$ МэВ изменение спектра γ -излучения незначительное. Также спектр γ -источника незначительно изменяется при высоких энергиях, свыше 10 МэВ. В интервалах энергии $0.1 < E < 0.5$ и $0.9 < E < 1$ МэВ наблюдается значительное снижение интенсивности после ~10 суток выдержки. Это обусловлено сокращением числа радиоактивных изотопов, за счет распада короткоживущих радионуклидов. В интервале энергий $0.5 < E < 0.9$ МэВ происходит значительное перераспределение значения интенсивности со временем выдержки.

8. Заключение

Описаны функциональные возможности п/к **GrayS** предназначенного для формирования γ -источника заданного изотопного состава.

Приведены примеры задания для формирования γ -источника и автономного использования модуля **ACTIVITY** для расчета активности ОТВС. Представлены графики γ -спектров для ОТВС реактора БН и реактора ВВЭР-1000 для разного выгорания и времени выдержки. Проведен сравнительный анализ γ -источников для ENDF/B-VII.0 и JEFF-3.1.1.

Представлены результаты сравнительного анализа γ -линий для отдельных изотопов W^{188} , Np^{237} , Pu^{238} , Pr^{150} , Eu^{156} , Ra^{228} , Ru^{105} , показано значимое различие в ядерных данных по интенсивности и энергии некоторых γ -линий.

Предполагается расширение функциональных возможностей п/к **GrayS**, с подключением дополнительных вычислительных модулей, в частности, для расчета энерговыделения. Планируется разработка дополнительных процедур по расширению возможностей анализа и представления выходной информации. Продолжается работа по расширению сервисных возможностей и оптимизации работы п/к **GrayS**.

Литература

1. Гусев Н., Машкович В., Обвинцев Г. Гамма-излучение радиоактивных изотопов и продуктов деления. М., ГИ Ф-МЛ, 1958.
2. X-5 Monte Carlo Team. MCNP – a General Monte Carlo N-Particle Transport Code. Version 5. LA-UR-03-1987, April 2003.
3. Блохин А.И., Дёмин Н.А., Манохин В.Н., Сипачев И.В., Блохин Д.А., Чернов В.М. Расчётный комплекс ASCDAM для исследований ядерных физических свойств материалов в условиях длительного нейтронного облучения. ж. Перспективные материалы, №2, 2010, с.46-55.
4. Rose P.F. ENDF/B-VI Radioactive Decay Data Sublibrary, Tapes 200-208. Compiled and Edited by: "ENDF-201, ENDF/B-VI Summary Documentation," BNL-NCS-17541, 4th Edition (1991).
5. Chadwick M.B., Oblozinsky P., Herman M. et al.: "ENDF/B-VII.0: Next Generation Evaluated Nuclear Data Library for Nuclear Science and Technology," Nucl. Data Sheets, 102, 2931 (2006).
6. Forrest R.A. EAF-99/DECAY: "The European Activation System: EASY-99 Overview", UKAEA FUS 484, 2000.
7. Santamarina A. (Ed), Bernard D., Rugama Y. "The JEFF-3.1.1 Nuclear Data Library," JEFF Report 22 (2009). <http://www.oecd-nea.org>
8. Katakura J., Yoshida T., Oyamatsu K. and Tachibana T. JENDL FP Decay Data File 2000. Report JAERI-1343 (2001).
9. ENSDF: Evaluated Nuclear Structure Data File (ENSDF) – produced by members of the International Nuclear Structure and Decay Data Network, and maintained by the NNDC, BNL, USA. <http://www.nndc.bnl.gov>
10. Блохин П.А., Митенкова Е.Ф. Формирование гамма-источника облученного ядерного топлива на основе современных библиотек ядерных данных ENDF/B-VII.0 и JEFF-3.1.1. Препринт ИБРАЭ РАН № IBRAE-2011-04, 2011г., 31 стр.
11. Блохин П.А., Митенкова Е.Ф., Сипачев И.В. Формирование источника гамма-излучения радионуклидов на основе радиационных характеристик библиотек оцененных ядерных данных ENDF/B-VII.0 и JEFF-3.1.1. ВАЯТ, сер. Ядерные константы, 2010, вып. 1-2, стр.
12. Блохин П.А., Митенкова Е.Ф. Моделирование -источника с помощью программы GRAYS. Препринт ИБРАЭ №IBRAE-2012-02 Сборник трудов XIII научной школы молодых ученых ИБРАЭ РАН, стр.27-30.
13. Croff A.G. A User's manual for ORIGEN2 Computer Code, Oak Ridge National Laboratory, Document ORNL/TM-7175 (July 1980).
14. Trellue H.R. and Poston D.I. User's Manual for Monteburns, version 5B. Preprint LA-UR-99-4999, LANL (1999).
15. Origin 6.0: Data Analysis and Graphing software. <http://www.originlab.com>

Приложение

Входные файлы

Пример входного файла с инструкциями TASK.inp

Расчет гамма-источника

DECAY: T1_2.inp

ENDF6_LIB: endf/b-vii.0.dd

E_GROUP: Energy.inp

ORIG: tape.inp

ACTIVITY: 75

T1/2: 1

Пример файла с энергетическим разбиением Energy.inp

3 группы

3

0.01

1

10

Первая строка идет как информационная и может содержать в себе любую информацию. На второй строке записывается количество групп. Третья и далее строки определяют правые границы интервалов энергии в МэВ (первая левая граница равна 0).

Пример файла с периодами полураспада T1_2.inp:

JENDL

Z A Is [S]

1 001 0 0.000E+00

1 002 0 0.000E+00

...

130 326 0 7.560E-08

130 327 0 2.710E-01

130 328 0 2.730E-07

Первая строка идет как информационная и может содержать в себе любую информацию (обычно это источник данных). По итогам работы программы она записывается в файл «out». На второй строке записывается условные обозначения. Третья и далее строки содержат информацию о нуклиде и его периоде полураспада. На определения Z отводится первые 3 символа, далее слитно идут 3 символа определяющие A, далее 1 символ на определение состояния ядра. Через пробел идет значение периода полураспада в секундах.

Запись «_10010 0.000E+00» (здесь символ «_» обозначает пробел) обозначает ядро атома водорода в стабильном состоянии, период полураспада которого равен 0.

Выходные файлы

Пример выходного файла модуля INTENSITY при групповом разбиении

38 - Количество групп

1.000E-02 3.000E-02 5.000E-02 7.000E-02 1.000E-01 1.500E-01
2.000E-01 2.500E-01 3.000E-01 3.500E-01 4.000E-01 4.500E-01
5.000E-01 5.500E-01 6.000E-01 6.500E-01 7.000E-01 8.000E-01
1.000E+00 1.400E+00 1.800E+00 2.200E+00 2.600E+00 2.800E+00
3.250E+00 3.750E+00 4.250E+00 4.750E+00 5.000E+00 5.250E+00
5.750E+00 6.250E+00 6.750E+00 7.500E+00 9.000E+00 1.100E+01
1.300E+01 1.500E+01

...

93-Np-238

0.000E+00 0.000E+00 2.144E-03 0.000E+00 0.000E+00 8.306E-03
8.710E-04 0.000E+00 0.000E+00 1.752E-03 4.624E-03 1.756E-03
0.000E+00 4.299E-03 1.279E-02 1.765E-02 0.000E+00 0.000E+00
1.647E+00 7.678E-01 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
0.000E+00 0.000E+00

93-Np-239

1.020E-06 9.485E-06 4.906E-03 4.704E-02 1.738E-04 5.789E-01
3.484E-03 6.713E-01 8.534E-01 2.392E-01 1.214E-04 1.416E-03
1.543E-03 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
0.000E+00 0.000E+00

Пример выходного файла модуля INTENSITY в дискретном виде

ENDF/B-VII RADIOACTIVE DECAY DATA FILE

Produced at the BNL from the ENSDF database

Authors: NSDD Translated into ENDF format by A.A. Sonzogni, November 2005

Z	A	G0	G1	T1/2[sec]	E[eV]	I/k[1/decay]	K	I[1/decay]
4	7	0	0	4.59821E+06	4.77604E+05	1.04400E-01	1.00000E+00	1.04400E-01
5	13	0	0	1.73300E-02	5.95013E+05	5.70000E-04	1.00000E+00	5.70000E-04
5	13	0	0	1.73300E-02	3.68392E+06	7.60000E-02	1.00000E+00	7.60000E-02
5	13	0	0	1.73300E-02	7.54500E+06	9.40000E-04	1.00000E+00	9.40000E-04

Пример выходного файла модуля SOURCE:

IBRAE RAN

Библиотека периодов полураспада: T1/2 JEFF 3.1.1 and Nuclide card JENDL

Библиотека выходов гамма-квантов: jeff31.dd

Выборка по активности: 95.10 %

Тип топлива:UO2

bn800_8(27.07.07)E=2100 187(15,0)330(15,7)174(14,7)105cm

Шаг выгорания= 1 Сутки= 40.0 Выгорание[GWd/MTU]= 0.32309E+01

Границы интервалов энергии (МэВ)	Интенсивность (1/распад)	Интенсивность (отн.ед.)
0 - 0.01	2.341E-04	3.641E-06
0.01 - 0.03	3.507E-03	1.091E-04
0.03 - 0.05	1.907E-02	5.930E-04
0.05 - 0.07	1.166E-02	3.625E-04
0.07 - 0.1	1.819E-01	8.486E-03
0.1 - 0.15	1.535E-01	1.194E-02
13 - 15	0.000E+00	0.000E+00

Входные и выходные файлы для расчета γ -источника для ОТВС

Пример входного файла T1/2.inp

T1/2 JEFF 3.1.1 and Nuclide card JENDL

Z A Is [S]

10010 0.000E+00

10020 0.000E+00

10030 3.891E+08

10040 1.390E-22

10050 9.100E-22

...

1303260 7.560E-08

1303270 2.710E-01

1303280 2.730E-07

Пример входного файла Energy.inp

ANSI/ANS-6.1.1-1977

38

0.01
 0.03
 0.05
 0.07
 ...
 11
 13
 15

Пример входного файла TAPE7_4.OU1

1 10010 8.3462E-05 20040 1.8214E-02 20060 1.4275E-24 30060 1.0579E-18
 1 30070 1.8521E-18 40090 3.7937E-14 40100 3.4638E-08 40110 6.6654E-20
 1 50100 5.4595E-16 50110 3.9016E-15 60120 3.1176E-08 60130 1.8213E-02
 1 60140 1.8038E-07 60150 5.8706E-21 70140 7.9660E-13 70150 1.9144E-15
 ...
 3 711710 3.0715E-23 711720 1.1823E-17 711721 2.9297E-21 711730 4.2433E-20
 3 711740 4.8931E-23 711741 4.3797E-24 711750 1.1522E-18 711760 2.8150E-22
 3 711761 1.9677E-23 721760 6.3226E-22 0 0.0000E+00 0 0.0000E+00
 0 5.96770E+00 3.01360E+15 1.49E+01

Пример файла Source.out

IBRAE RAN Date 06/28/2012; time 11:33:36
 Библиотека периодов полураспада: T1/2 JEFF 3.1.1 and Nuclide card JENDL
 Библиотека выходов гамма-квантов: jeff31.dd
 Выборка по активности: 95.10 %
 Тип топлива:UO2
 bn800_8(27.07.07)E=2100 187(15,0)330(15,7)174(14,7)105cm
 Шаг выгорания= 48 Сутки= 1920.0 Выгорание[GWd/MTU]= 0.14825E+03

Границы интервалов энергии (МэВ)	Интенсивность (1/распад)	Интенсивность (отн.ед.)
0 - 0.01	2.337E-04	4.287E-06
0.01 - 0.03	3.622E-03	1.329E-04
0.03 - 0.05	2.068E-02	7.587E-04
0.05 - 0.07	1.977E-02	7.253E-04
0.07 - 0.1	1.940E-01	1.068E-02
...		
7.5 - 9.0	0.000E+00	0.000E+00
9.0 - 11	0.000E+00	0.000E+00
11 - 13	0.000E+00	0.000E+00
13 - 15	0.000E+00	0.000E+00

*** **

38 - Количество групп

1.000E-02 3.000E-02 5.000E-02 7.000E-02 1.000E-01 1.500E-01
2.000E-01 2.500E-01 3.000E-01 3.500E-01 4.000E-01 4.500E-01
5.000E-01 5.500E-01 6.000E-01 6.500E-01 7.000E-01 8.000E-01
1.000E+00 1.400E+00 1.800E+00 2.200E+00 2.600E+00 2.800E+00
3.250E+00 3.750E+00 4.250E+00 4.750E+00 5.000E+00 5.250E+00
5.750E+00 6.250E+00 6.750E+00 7.500E+00 9.000E+00 1.100E+01
1.300E+01 1.500E+01

34-Se- 84

0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 8.164E+00
0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
0.000E+00 0.000E+00

...

93-Np-239

1.020E-06 9.485E-06 4.906E-03 4.704E-02 1.738E-04 5.789E-01
3.484E-03 6.713E-01 8.534E-01 2.392E-01 1.214E-04 1.416E-03
1.543E-03 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
0.000E+00 0.000E+00

*** **

Z	A	Is	Conc[g]	T1/2[S]	Act(Ci)	Percent	Total Percent
---	---	----	---------	---------	---------	---------	---------------

Activity = 95.1 %

92	239	0	2.6859E-01	1.408E+03	8.999E+06	1.194E+01	1.1935E+01
93	239	0	3.8610E+01	2.035E+05	8.953E+06	1.187E+01	2.3809E+01
53	134	0	2.6452E-02	3.150E+03	7.067E+05	9.372E-01	2.4746E+01
54	135	0	2.7807E-01	3.290E+04	7.060E+05	9.364E-01	2.5682E+01
42	99	0	1.3232E+00	2.374E+05	6.349E+05	8.421E-01	2.6524E+01
54	133	0	3.3697E+00	4.531E+05	6.306E+05	8.364E-01	2.7361E+01

44	103	0	1.9303E+01	3.392E+06	6.231E+05	8.264E-01	2.8187E+01
45	103	1	1.8963E-02	3.367E+03	6.166E+05	8.178E-01	2.9005E+01
53	133	0	5.4382E-01	7.488E+04	6.158E+05	8.167E-01	2.9822E+01
...							
58	149	0	4.8562E-06	5.300E+00	6.501E+04	8.622E-02	9.4730E+01
35	84	0	9.0745E-04	1.908E+03	6.384E+04	8.467E-02	9.4815E+01
50	128	0	2.5631E-03	3.546E+03	6.368E+04	8.445E-02	9.4900E+01
44	111	0	1.5572E-06	2.120E+00	6.366E+04	8.442E-02	9.4984E+01
34	84	0	8.5798E-05	1.860E+02	6.181E+04	8.198E-02	9.5066E+01

Суммарная активность(Ci): 0.717E+08

Процентный вклад: 95.066