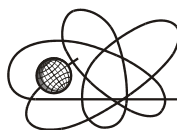




Российская Академия Наук

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ
БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ
АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**



ИБРАЭ

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

**NUCLEAR SAFETY
INSTITUTE**

Препринт ИБРАЭ № IBRAE-2011-04

Preprint IBRAE-2011-04

Блохин П.А., Митенкова Е.Ф.

**ФОРМИРОВАНИЕ ГАММА-ИСТОЧНИКА
ОБЛУЧЕННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА НА
ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ БИБЛИОТЕК
ОЦЕНЕННЫХ ЯДЕРНЫХ ДАННЫХ ENDF/B-VII.0
И JEFF-3.1.1**

Москва
2011

Moscow
2011

УДК 621.039.51

Блохин, П.А. Формирование гамма-источника облученного ядерного топлива на основе современных библиотек оцененных ядерных данных ENDF/B-VII.0 и JEFF-3.1.1. /Блохин П.А., Митенкова Е.Ф. – (Препринт / Ин-т проблем безопас. развития атом. энергетики РАН, №IBRAE-2011-04)/ — М.: ИБРАЭ РАН, 2011. — 31 с. — Библиогр.: 18 назв. – 80 экз.

Аннотация

Для практических расчетов радиационного гамма-излучения смеси радионуклидов необходимы ядерные данные об индивидуальных спектрах гамма-излучений, сопровождающих радиоактивный распад радионуклидов. Современными версиями этих данных являются библиотеки оцененных ядерных данных ENDF/B-VII.0 и JEFF-3.1.1, представленных в формате endf-6. В данной работе представлены результаты формирования спектра гамма-излучения с помощью комплекса специализированных процедур по обработке, анализу и компиляции данных радиационных характеристик из файлов оцененных ядерных данных ENDF/B-VII.0 и JEFF-3.1.1.

Blokhin, P.A. Gamma-ray source formation of irradiated nuclear fuel on the basis of modern evaluated nuclear data files ENDF/B-VII.0 and JEFF-3.1.1. P.A.Blokhin, E.F.Mitenkova. – (Preprint / Nuclear Safety Institute RAS, April 2011, №IBRAE-2011-04). – Moscow: NSI RAS, 2011. – 31 p. – Bibliogr.: 18 items

Abstract

Practical calculations of radionuclides mixture gamma-radiation require the nuclear data about the individual gamma-ray spectra while radionuclides decay. The modern versions of evaluated nuclear data files ENDF/B-VII.0 and JEFF-3.1.1 contain these data in endf-6 format. This paper presents the results of gamma-ray spectrum formation while using the specialized procedures of processing, analysis and compilation radiation data based on ENDF/B-VII.0 and JEFF-3.1.1.

Формирование гамма-источника облученного топлива на основе современных библиотек оцененных ядерных данных ENDF/B-VII.0 и JEFF-3.1.1

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: mit@ibrae.ac.ru

Содержание

1. Введение.....	3
2. Описание методики расчета радиационных характеристик облученного топлива.....	3
3. Обзор библиотек оцененных данных радионуклидов	4
4. Описание блока формирования источника гамма-излучения	5
5. Формирование библиотек дискретных гамма-выходов.....	6
6. Формирование библиотек групповых гамма-выходов	10
7. Расчет радиационных характеристик для смеси продуктов деления и актинидов.....	11
8. Заключение	21
Литература.....	21
Приложение	23

1. Введение

В задачах ядерной и радиационной безопасности при работе с облученным ядерным топливом (ОЯТ) требуются знания об интенсивности гамма-излучения радионуклидов, входящих в состав облученного материала. В большинстве случаев радиоактивный распад сопровождается гамма-излучением ядер – продуктов этого распада. Поэтому уточнения данных радиационных характеристик нуклидов является одной из приоритетных задач ядерной безопасности. На основе анализа имеющейся экспериментальной информации и теоретических моделей формируются данные о радиационных характеристиках радионуклидов [1-3]. В последние годы подготовлены современные электронные версии библиотек распадных данных, основанных на анализе современных исследований о спектроскопических характеристиках радионуклидов [4-8]. В реакторных расчетах одними из наиболее востребованных библиотек оцененных распадных данных являются американская библиотека ENDF/B-VII.0 [5] и европейская библиотека JEFF-3.1.1 [7].

В данной работе приведены результаты использования специализированных процедур для формирования гамма-источника смеси радионуклидов на базе библиотек оцененных ядерных данных ENDF/B-VII.0 и JEFF -3.1.1 в формате endf-6.

В качестве примера представлен гамма-источник облученного оксидного плутониевого PuO_2 топлива (выгорание 40% - 90% т.а.) в реакторе ГТ-МГР [9]. Для каждого изотопа рассматриваемого состава ОЯТ сформированы данные по гамма характеристикам из библиотек ENDF/B-VII.0 и JEFF -3.1.1, проведены соответствующие сравнения и показано влияние ядерных данных на характеристики спектров гамма-излучения.

2. Описание методики расчета радиационных характеристик облученного топлива

В процессе нейтронного облучения материалов изменения их изотопного и элементного состава происходит за счет многочисленных ядерных реакций и радиоактивного распада образующихся нестабиль-

ных нуклидов. В расчете нуклидного состава облучаемого нейтронами материала число ядер радионуклидов определяется традиционно из решения системы дифференциальных уравнений:

$$dN_i(t)/dt = -N_i \cdot (\lambda_i + \sigma_i \cdot \Phi(t)) + \sum_{j \neq i} (\lambda_{ij} + \sigma_{ij} \cdot \Phi(t)) \cdot N_j \quad (1)$$

где:

$N_i(t)$ – число радиоактивных ядер i -го нуклида в момент времени t ;

$\Phi(t)$ – заданный нейтронный поток, $\text{н} \times \text{см}^{-2} \times \text{с}^{-1}$;

λ_i – постоянная распада i -го нуклида, с^{-1} ;

λ_{ij} – постоянная распада из j -го нуклида в i -й нуклид, с^{-1} ;

σ_i – средние по нейтронному спектру сечения ядерных реакций на i -ом нуклиде, см^2 ;

σ_{ij} – средние по нейтронному спектру сечения ядерных реакций на j -ом нуклиде по наработке i -го нуклида, см^2 ;

При наличии в материале делящихся изотопов система уравнений (1) преобразуется как:

$$dN_i(t)/dt = -N_i \cdot (\lambda_i + \sigma_i \cdot \Phi(t)) + \sum_{j \neq i} (\lambda_{ij} + \sigma_{ij} \cdot \Phi(t)) \cdot N_j + S_i \quad (2)$$

где S_i – источник i -го нуклида по каналу деления.

Расчет нуклидного состава облученного топлива в рассматриваемой системе ГТ-МГР осуществляется для полномасштабной модели активной зоны с помощью п/к MONTEBURNS-MCNP-ORIGEN [16]. По окончании облучения нуклидный состав топлива с заданными временами выдержки рассчитывается на основе п/к CHAIN и библиотеки активационных сечений ACDAM [10], которые позволяют рассматривать короткоживущие радионуклиды, учитывать радионуклиды в нескольких метастабильных состояниях, подключать дополнительный источник радионуклидов, образующийся за счет спонтанного распада минорных актинидов, а также использовать расширенные цепочки трансмутационных превращений с увеличением числа каналов ядерных реакций до 18.

Полный выход гамма-излучения смеси нуклидов определяется как:

$$\Phi(E_\gamma) = \sum_{i=1,L} N_i(t) \cdot \lambda_i \cdot \sum_{k=1,M} n_{ik}(E_{\gamma k}), (\text{кг} \times \text{с})^{-1} \quad (3)$$

где:

$N_i(t)$ – ядерная концентрация нуклида i на единицу массы смеси нуклидов; данные задаются изначально или определяются из решения уравнений (1) или (2);

$n_{ik}(E_{\gamma k})$ – квантовый выход k -й гамма-линии с энергией $E_{\gamma k}$ из нуклида i , $(\text{рас.})^{-1}$;

L – число нуклидов в смеси;

M – полное число гамма-линий при распаде нуклида i .

3. Обзор библиотек оцененных данных радионуклидов

В настоящее время существует несколько полных библиотек оцененных ядерных данных, используемых в нейтронно-физических расчетах при решении широкого спектра задач ядерно-радиационной безопасности. Такие библиотеки разработаны и реализованы в рамках международных и национальных программ по ядерным данным МАГАТЭ, России, США, Японии - ENDF/B-VI.8 [4], ENDF-VII.0 [5], EAF-99/DECAY [6], JEFF-3.1.1 [7], JENDL FP Decay Data File 2000 [8], JEF-2.2 [11], FENDL-2/D [12]. Формирование современных библиотек оцененных ядерных данных по радиационным характеристикам основывается на данных библиотеки ENSDF [13], содержащей экспериментальную информацию по спектроскопическим характеристикам радиоактивных и стабильных ядер.

Создание специализированной базы данных по радиационным характеристикам радионуклидов на основе современных библиотек ядерных данных оказывается наиболее актуальным при решении задач с повышенной точностью и обосновании получаемых результатов расчета. Библиотеки ENDF/B-VI.8, ENDF-VII.0, JEFF-3.1.1, EAF-99/DECAY выбраны как наиболее полные и находящиеся в открытом доступе Центров ядерных данных. Данные таблицы 1 содержат информацию по количеству нуклидов в указанных библиотеках.

Таблица 1. Сравнительные данные по нуклидам в библиотеках оцененных ядерных данных

Название библиотеки	Количество нуклидов	Область элементов и изотопов
ENDF/B-VI.8	979	1-H-3 → 99-Es-253
ENDF-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 (Dec2009)	3119	1-H-1 → 120-Sym-299 ^{*)}

^{*)} символом Sym обозначены нуклиды, не имеющие официального названия в таблице элементов, но с включенными ядерными спектроскопическими данными в библиотеку ENSDF.

4. Описание блока формирования источника гамма-излучения

Для обеспечения динамичной работы с данными радионуклидов, содержащихся в современных библиотеках оцененных ядерных данных, разработан комплекс специализированных программно-вычислительных процедур по формированию источника гамма-излучения. На первом этапе реализованы процедуры для извлечения данных указанных радионуклидов (типа «энергия – интенсивность») формата endf-6 и их обработки, компиляции и представления в заданных форматах. В таблице 2 приведено краткое описание реализованных функций в разработанных программах. Все программы написаны на языке Фортран-90.

Таблица 2. Программы и их функции

Название программы	Выполняемые функции и исходные данные
GAM_DS	Программа для извлечения дискретных гамма-линий из файлов оцененных ядерных данных в формате endf-6. Параметры программы: inlib – имя исходной библиотеки оцененных ядерных данных в формате endf-6 outlib – имя выходного файла с извлеченной информацией о дискретных гамма-квантах, сопровождающих радиоактивный распад нуклида
GAM_GR	Программа для извлечения в заданных энергетических интервалах гамма-выходов из файлов оцененных ядерных данных в формате endf-6. Параметры программы: inlib – имя исходной библиотеки оцененных ядерных данных в формате endf-6 outlib – имя выходного файла с извлеченной информацией о дискретных гамма-квантах, сопровождающих радиоактивный распад нуклида name – имя файла с заданной групповой структурой
GAM_RAD	Программа для расчета интегрального гамма-излучения смеси радионуклидов с заданными концентрациями Параметры программы: infile – имя исходного файла с групповыми данными по выходам гамма-квантов conc – имя файла, содержащего список нуклидов и их концентрации name – имя файла с интегральным спектром гамма-излучения

5. Формирование библиотек дискретных гамма-выходов

Разработанный набор программ позволяет извлекать данные по выходам дискретных гамма-квантов из файлов оцененных ядерных данных в формате endf-6, и с учетом нормировки исходных данных представлять выходные данные в едином формате.

В таблице 3 представлены выходы дискретных гамма-квантов при распаде ядра Sb-126, находящегося в основном, 1-ом и 2-ом метастабильном состоянии. Данные приведены для библиотеки JEFF-3.1.1. Аналогичные данные по выходам дискретных гамма-квантов при α -распаде Pu-238 приведены в таблице 4.

В таблице 5 из библиотек JEFF-3.1.1, ENDF/B-VII.0 представлены данные по выходам гамма-квантов для ядра Pu-238 в сравнении с данными из NUDAT. Интенсивности I_g гамма-квантов приведены в единицах количества гамма-квантов на один α -распад исходного ядра (здесь Pu-238).

Структура таблиц:

Колонка 1 – заряд и массовое число исходного нуклида,

Колонка 2 – параметр I_0 , указывающий номер возбужденного уровня, в котором находится исходное ядро, для основного состояния $I_0=0$.

Колонка 3 – параметр I_d , определяющий номер метастабильного (долгоживущего) уровня, в котором находится исходное ядро. В общем случае $I_d \leq I_0$. Если исходное ядро находится в основном состоянии, то $I_0=I_d=0$.

Колонка 4 – период полураспада исходного нуклида в с,

Колонка 5 – энергия гамма-кванта E_g в эВ,

Колонка 6 – относительная интенсивность I_g выхода данного гамма-кванта,

Колонка 7 – нормировочный коэффициент K , который переводит I_g в абсолютные значения,

Колонка 8 – абсолютная интенсивность I_g выхода данного гамма-кванта, т.е. количество гамма-квантов с данной энергией E_g , образующихся при единичном распаде ядра с ZA (колонка 1).

Колонка 9 – тип распада

Колонка 10 – символическое представление исходного ядра.

Колонка 11 – то же, что и колонка 3, но для наглядности при $I_d=0$ указывается G (ground), при $I_d=1$ - M (1-ое метастабильное состояние), при $I_d=2$ - N (2-ое метастабильное состояние).

Таблица 3. Представление данных по выходам дискретных гамма-квантов при распаде ядра Sb-126 для основного и двух метастабильных состояний (библиотека JEFF-3.1.1.)

ZA	I_0	I_d	$T_{1/2},$ с	$E_g, \text{эВ}$	$I_g, \text{отн. ед.}$	K	$I_g, 1/\text{распад}$	Тип распада	Z-S-A	I_d
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
51126	0	0	1.07136E+06	1.49300E+05	4.00000E-01	1.00000E-02	4.00000E-03	B-	51-Sb-126	G
51126	0	0	1.07136E+06	2.08600E+05	5.00000E-01	1.00000E-02	5.00000E-03	B-	51-Sb-126	G
51126	0	0	1.07136E+06	2.23300E+05	1.40000E+00	1.00000E-02	1.40000E-02	B-	51-Sb-126	G
51126	0	0	1.07136E+06	2.78600E+05	2.20000E+00	1.00000E-02	2.20000E-02	B-	51-Sb-126	G
51126	0	0	1.07136E+06	2.96600E+05	4.90000E+00	1.00000E-02	4.90000E-02	B-	51-Sb-126	G
51126	0	0	1.07136E+06	2.96800E+05	5.00000E-01	1.00000E-02	5.00000E-03	B-	51-Sb-126	G
51126	0	0	1.07136E+06	4.14400E+05	8.36000E+01	1.00000E-02	8.36000E-01	B-	51-Sb-126	G
51126	0	0	1.07136E+06	4.14900E+05	1.00000E+00	1.00000E-02	1.00000E-02	B-	51-Sb-126	G
51126	0	0	1.07136E+06	5.55000E+05	1.80000E+00	1.00000E-02	1.80000E-02	B-	51-Sb-126	G
51126	0	0	1.07136E+06	5.73800E+05	6.70000E+00	1.00000E-02	6.70000E-02	B-	51-Sb-126	G
51126	0	0	1.07136E+06	5.93000E+05	7.50000E+00	1.00000E-02	7.50000E-02	B-	51-Sb-126	G
51126	0	0	1.07136E+06	6.20100E+05	9.00000E-01	1.00000E-02	9.00000E-03	B-	51-Sb-126	G
51126	0	0	1.07136E+06	6.39700E+05	9.00000E-01	1.00000E-02	9.00000E-03	B-	51-Sb-126	G
51126	0	0	1.07136E+06	6.56300E+05	2.20000E+00	1.00000E-02	2.20000E-02	B-	51-Sb-126	G
51126	0	0	1.07136E+06	6.66100E+05	9.96800E+01	1.00000E-02	9.96800E-01	B-	51-Sb-126	G
51126	0	0	1.07136E+06	6.75000E+05	3.70000E+00	1.00000E-02	3.70000E-02	B-	51-Sb-126	G
51126	0	0	1.07136E+06	6.95000E+05	9.96800E+01	1.00000E-02	9.96800E-01	B-	51-Sb-126	G
51126	0	0	1.07136E+06	6.97000E+05	3.20000E+01	1.00000E-02	3.20000E-01	B-	51-Sb-126	G
51126	0	0	1.07136E+06	7.20300E+05	5.38000E+01	1.00000E-02	5.38000E-01	B-	51-Sb-126	G
51126	0	0	1.07136E+06	8.56700E+05	1.75000E+01	1.00000E-02	1.75000E-01	B-	51-Sb-126	G
51126	0	0	1.07136E+06	9.54000E+05	1.50000E+00	1.00000E-02	1.50000E-02	B-	51-Sb-126	G
51126	0	0	1.07136E+06	9.59600E+05	5.00000E-01	1.00000E-02	5.00000E-03	B-	51-Sb-126	G

51126	0	0	1.07136E+06	9.89300E+05	6.80000E+00	1.00000E-02	6.80000E-02	B-	51-Sb-126	G
51126	0	0	1.07136E+06	1.03490E+06	1.00000E+00	1.00000E-02	1.00000E-02	B-	51-Sb-126	G
51126	0	0	1.07136E+06	1.06390E+06	9.00000E-01	1.00000E-02	9.00000E-03	B-	51-Sb-126	G
51126	0	0	1.07136E+06	1.21300E+06	2.30000E+00	1.00000E-02	2.30000E-02	B-	51-Sb-126	G
51126	0	0	1.07136E+06	1.47620E+06	3.00000E-01	1.00000E-02	3.00000E-03	B-	51-Sb-126	G
51126	1	1	1.14600E+03	1.77000E+04	5.00000E-07	8.60000E-01	4.30000E-07	IT	51-Sb-126	M
51126	1	1	1.14600E+03	4.14800E+05	9.60000E-01	8.60000E-01	8.25600E-01	B-	51-Sb-126	M
51126	1	1	1.14600E+03	6.20300E+05	2.00000E-02	8.60000E-01	1.72000E-02	B-	51-Sb-126	M
51126	1	1	1.14600E+03	6.66340E+05	1.00000E+00	8.60000E-01	8.60000E-01	B-	51-Sb-126	M
51126	1	1	1.14600E+03	6.95100E+05	1.00000E+00	8.60000E-01	8.60000E-01	B-	51-Sb-126	M
51126	1	1	1.14600E+03	9.28400E+05	1.70000E-02	8.60000E-01	1.46200E-02	B-	51-Sb-126	M
51126	1	1	1.14600E+03	1.03510E+06	2.40000E-02	8.60000E-01	2.06400E-02	B-	51-Sb-126	M
51126	1	1	1.14600E+03	1.06240E+06	8.00000E-03	8.60000E-01	6.88000E-03	B-	51-Sb-126	M
51126	1	1	1.14600E+03	1.47720E+06	6.00000E-03	8.60000E-01	5.16000E-03	B-	51-Sb-126	M
51126	2	2	1.10000E+01	2.27000E+04	1.00000E+00	1.34000E-03	1.34000E-03	IT	51-Sb-126	N

Таблица 4. Представления данных по выходам дискретных гамма-квантов при α -распаде Pu-238 (JEFF-3.1.1.)

ZA	IO	Id	T _{1/2} , с	E _g , эВ	I _g , отн. ед.	K	I _g , 1/распад	Тип распада	Z-S-A	Id
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
94238	0	0	2.768E+09	3.43000E+04	1.54430E-09	3.95000E-04	6.09999E-13	A	94-Pu-238	G
94238	0	0	2.768E+09	4.34980E+04	1.00000E+00	3.95000E-04	3.95000E-04	A	94-Pu-238	G
94238	0	0	2.768E+09	6.28000E+04	6.07595E-07	3.95000E-04	2.40000E-10	A	94-Pu-238	G
94238	0	0	2.768E+09	9.98530E+04	1.86076E-01	3.95000E-04	7.35000E-05	A	94-Pu-238	G
94238	0	0	2.768E+09	1.40500E+05	1.69620E-07	3.95000E-04	6.69999E-11	A	94-Pu-238	G
94238	0	0	2.768E+09	1.52720E+05	2.37215E-02	3.95000E-04	9.36999E-06	A	94-Pu-238	G
94238	0	0	2.768E+09	1.74600E+05	1.31646E-07	3.95000E-04	5.20002E-11	A	94-Pu-238	G
94238	0	0	2.768E+09	1.92800E+05	4.05063E-08	3.95000E-04	1.60000E-11	A	94-Pu-238	G
94238	0	0	2.768E+09	2.00980E+05	1.03291E-04	3.95000E-04	4.07999E-08	A	94-Pu-238	G
94238	0	0	2.768E+09	2.03200E+05	2.20253E-07	3.95000E-04	8.69999E-11	A	94-Pu-238	G
94238	0	0	2.768E+09	2.34600E+05	3.03797E-08	3.95000E-04	1.20000E-11	A	94-Pu-238	G
94238	0	0	2.768E+09	2.36400E+05	8.10126E-07	3.95000E-04	3.20000E-10	A	94-Pu-238	G
94238	0	0	2.768E+09	2.58200E+05	1.94937E-06	3.95000E-04	7.70001E-10	A	94-Pu-238	G
94238	0	0	2.768E+09	2.99100E+05	2.43038E-06	3.95000E-04	9.60000E-10	A	94-Pu-238	G
94238	0	0	2.768E+09	7.05600E+05	1.27342E-06	3.95000E-04	5.03001E-10	A	94-Pu-238	G
94238	0	0	2.768E+09	7.08400E+05	1.26582E-05	3.95000E-04	4.99999E-09	A	94-Pu-238	G
94238	0	0	2.768E+09	7.42814E+05	1.30886E-04	3.95000E-04	5.17000E-08	A	94-Pu-238	G
94238	0	0	2.768E+09	7.66358E+05	5.54430E-04	3.95000E-04	2.19000E-07	A	94-Pu-238	G
94238	0	0	2.768E+09	7.86272E+05	8.30380E-05	3.95000E-04	3.28000E-08	A	94-Pu-238	G
94238	0	0	2.768E+09	8.04500E+05	1.97468E-06	3.95000E-04	7.79999E-10	A	94-Pu-238	G
94238	0	0	2.768E+09	8.05500E+05	3.26582E-06	3.95000E-04	1.29000E-09	A	94-Pu-238	G
94238	0	0	2.768E+09	8.08200E+05	2.02532E-05	3.95000E-04	8.00001E-09	A	94-Pu-238	G
94238	0	0	2.768E+09	8.09900E+05	2.10127E-06	3.95000E-04	8.30002E-10	A	94-Pu-238	G
94238	0	0	2.768E+09	8.51700E+05	3.26582E-05	3.95000E-04	1.29000E-08	A	94-Pu-238	G
94238	0	0	2.768E+09	8.80514E+05	3.87342E-06	3.95000E-04	1.53000E-09	A	94-Pu-238	G
94238	0	0	2.768E+09	8.83237E+05	1.90127E-05	3.95000E-04	7.51002E-09	A	94-Pu-238	G
94238	0	0	2.768E+09	9.04300E+05	1.64557E-06	3.95000E-04	6.50000E-10	A	94-Pu-238	G
94238	0	0	2.768E+09	9.26720E+05	1.40253E-05	3.95000E-04	5.53999E-09	A	94-Pu-238	G
94238	0	0	2.768E+09	9.42000E+05	1.14177E-05	3.95000E-04	4.50999E-09	A	94-Pu-238	G
94238	0	0	2.768E+09	9.46002E+05	2.22785E-06	3.95000E-04	8.80001E-10	A	94-Pu-238	G
94238	0	0	2.768E+09	9.80500E+05	1.94937E-06	3.95000E-04	7.70001E-10	A	94-Pu-238	G
94238	0	0	2.768E+09	1.00102E+06	2.43291E-05	3.95000E-04	9.60999E-09	A	94-Pu-238	G
94238	0	0	2.768E+09	1.04190E+06	4.65823E-06	3.95000E-04	1.84000E-09	A	94-Pu-238	G
94238	0	0	2.768E+09	1.08540E+06	1.84810E-06	3.95000E-04	7.30000E-10	A	94-Pu-238	G

В таблице 5 приведены оригинальные данные из всех рассматриваемых библиотек.

Таблица 5. Сравнительные данные по выходам дискретных гамма-квантов при α -распаде Pu-238 из библиотек JEFF-3.1.1, ENDF/B-VII.0 и NUDAT

№	JEFF-3.1.1		ENDF/B-VII.0		NUDAT	
	Eg, кэВ	Ig, 1/распад	Eg, кэВ	Ig, 1/распад	Eg, кэВ	Ig, 1/распад
1					13.6	0.102
2	34.3	6.09998E-13				
3	43.498	3.95E-04	43.498	3.95E-04	43.498	0.000392
4	62.8	2.4E-10			62.7	5E-11
5					94.654	5.79E-07
6					98.434	9.25E-07
7	99.853	7.35E-05	99.853	7.35E-05	99.853	0.0000729
8					110.421	1.16E-07
9					111.298	2.2E-07
10					114.445	8.52E-08
11	140.5	6.69999E-11			140.15	1E-11
12	152.72	9.36999E-06	152.72	9.37E-06	152.72	9.29E-06
13	174.6	5.20002E-11				
14	192.8	1.6E-11	192.91	6.5E-12	192.91	6.4E-12
15	200.98	4.07999E-08	200.97	3.9E-08	200.97	3.9E-08
16	203.2	8.69999E-11			203.12	4E-11
17	234.6	1.2E-11				
18	236.4	3.2E-10	235.9	1E-10	235.9	1E-10
19	258.2	7.70001E-10	258.3	8.5E-10	258.3	8.4E-10
20	299.1	9.6E-10	299.2	4.8E-10	299.2	4.8E-10
21	705.6	5.03001E-10	705.9	5.3E-10	705.9	5.3E-10
22	708.4	4.99999E-09	708.42	4.1E-09	708.42	4.1E-09
23	742.814	5.17E-08	742.81	5.2E-08	742.81	5.2E-08
24	766.358	2.19E-07	766.39	2.2E-07	766.39	2.2E-07
25			783.4	2.4E-10	783.4	2.4E-10
26	786.272	3.28E-08	786.3	3.25E-08	786.3	3.2E-08
27	804.5	7.79999E-10	804.4	1.2E-09	804.4	1.2E-09
28	805.5	1.29E-09	805.6	6E-10	805.6	6E-10
29	808.2	8.00001E-09	808.25	8E-09	808.25	7.9E-09
30	809.9	8.30002E-10				
31	851.7	1.29E-08	851.7	1.25E-08	851.7	1.24E-08
32	880.514	1.53E-09	880.5	1.6E-09	880.5	1.6E-09
33	883.237	7.51002E-09	883.23	7.7E-09	883.23	7.6E-09
34	904.3	6.5E-10	904.3	6.5E-10	904.3	6.4E-10
35	926.72	5.53999E-09	926.72	5.8E-09	926.72	5.8E-09
36	942.0	4.50999E-09	941.9	4.7E-09	941.9	4.7E-09
37	946.002	8.80001E-10			946.0	4E-10
38	980.5	7.70001E-10				
39	1001.02	9.60999E-09	1001.03	9.9E-09	1001.03	9.8E-09
40	1041.9	1.84E-09	1041.8	2.2E-09	1041.8	2.2E-09
41	1085.4	7.3E-10	1085.4	9.2E-10	1085.4	9.1E-10
Ng	34		26		36	

Как видно из таблицы, данные из разных библиотек отличаются. По некоторым энергиям различие по интенсивности доходит до 50% (Eg=804,5 КэВ – ENDF/B-VII и JEFF 3.1.1, NUDAT). Так же стоит отметить, что библиотека NUDAT содержит более полные данные по выходам гамма-квантов по сравнению с библиотеками JEFF-3.1.1 и ENDF/B-VII.0.

5. Интенсивности гамма-квантов для ядра Pu-238 (рис.1) приведены в соответствии с данными таблицы

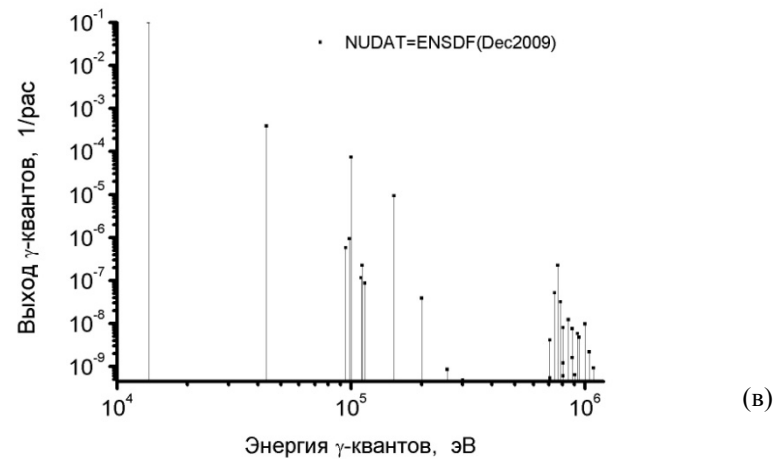
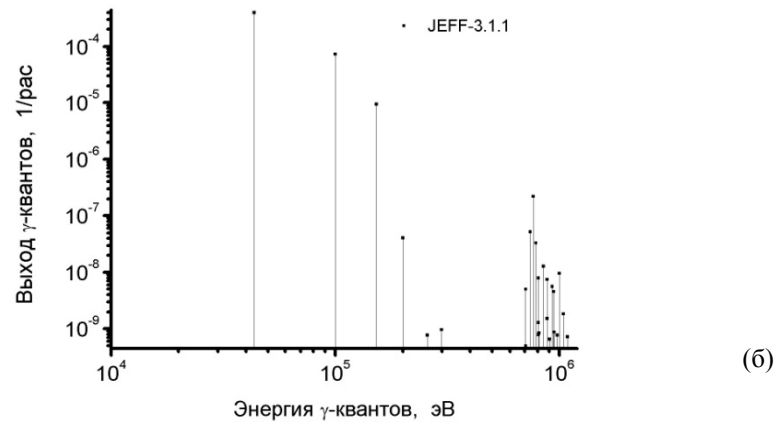
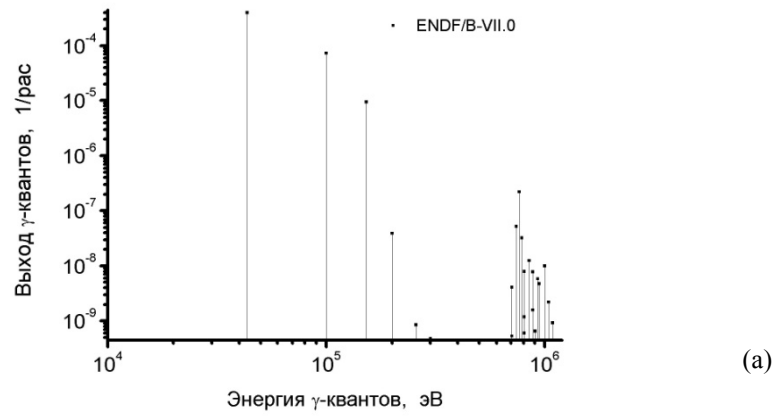


Рис. 1 Выходы гамма-квантов при α -распаде ядра Pu-238 для ENDF/B-VII (а), JEFF-3.1.1 (б), NUDAT (в)

6. Формирование библиотек групповых гамма-выходов

При решении практических задач ядерно-радиационной безопасности традиционно используются интегральные значения выходов гамма-квантов, усредненные по всему диапазону энергий для соответствующих нуклидов. В ряде задач с заданным источником излучений (при калибровке, расчете мощности дозы и др.) требуется проведение более точных расчетов с использованием ядерных данных в групповом представлении [16]. Так при расчете дозовых уровней облучения биологических тканей в международной практике широко используются европейский стандарт ICRP [18] и американский стандарт ANSI/ANS-6.1.1 [17] с 25 и 38-ым групповым энергетическим разбиением выходов гамма-квантов в диапазоне энергии до 10 и 15 МэВ соответственно. В российских нормативах радиационной безопасности также используются аналогичные ICRP групповые представления. В этой связи необходимо обеспечить формирование групповых библиотек гамма – выходов с учетом заданных энергетических разбиений.

На основе разработанных программ проведена обработка библиотек ENDF/B-VII.0 и JEFF-3.1.1, касающаяся количества дискретных гамма-квантов и их распределения по исходным ядрам в различных состояниях (таблица 8). Для группового представления гамма-квантов (для 38 групп) аналогичная информация приведена в таблице 9.

Таблица 8. Параметры библиотек выходов дискретных гамма-линий

Состояние ядра	Количество дискретных гамма-линий	
	ENDF/B-VII.0	JEFF-3.1.1
Основное состояние	37207	42845
1-ое метастабильное состояние	3262	4683
2-ое метастабильное состояние	129	187
Полное число гамма-линий	40598	47715

Таблица 9. Характеристики библиотек выходов гамма-линий в 38-ом групповом представлении для ENDF/B-VII.0 и JEFF-3.1.1

Состояние ядра	Количество ядер	
	ENDF/B-VII.0	JEFF-3.1.1
Основное состояние	926	1007
1-ое метастабильное состояние	186	257
2-ое метастабильное состояние	17	21
Полное число ядер	1139	1285

В качестве примера для ядра сурьмы Sb-126 приведены данные гамма-выходов, полученные для энергетического разбиения ANSI/ANS-6.1.1-1977 (таблица 6).

Таблица 6. Верхние границы энергетического разбиения в стандарте ANSI/ANS-6.1.1-1977

№ группы	Верхняя граница, МэВ	Ширина группы, МэВ	№ группы	Верхняя граница, МэВ	Ширина группы, МэВ
1	0.01	0.01	20	1.4	0.4
2	0.03	0.02	21	1.8	0.4
3	0.05	0.02	22	2.2	0.4
4	0.07	0.02	23	2.6	0.4
5	0.10	0.03	24	2.8	0.2
6	0.15	0.05	25	3.25	0.45
7	0.20	0.05	26	3.75	0.5
8	0.25	0.05	27	4.25	0.5
9	0.30	0.05	28	4.75	0.5
10	0.35	0.05	29	5.0	0.25
11	0.40	0.05	30	5.25	0.25
12	0.45	0.05	31	5.75	0.5
13	0.50	0.05	32	6.25	0.5
14	0.55	0.05	33	6.75	0.5
15	0.60	0.05	34	7.5	0.25

16	0.65	0.05	35	9.0	1.5
17	0.7	0.05	36	11.0	2.0
18	0.8	0.1	37	13.0	2.0
19	1.0	0.2	38	15.0	2.0

Разработанный комплекс программ позволяет сформировать данные в заданном групповом представлении по энергии гамма-квантов. Например, исходные данные по выходам дискретных гамма-квантов при распаде ядра Sb-126 (табл.3) представлены в 38-ми группах (табл. 7) следующего формата:

1-я строка: Количество групп в разбиении энергий гамма-квантов (в примере 38 групп);

2-я и последующие строки: Границы энергетических групп. Количество приведенных значений энергий на одно больше числа групп, указанного в 1-ой строке (в примере 39 групп). Границы энергетических групп указаны по шесть значений в строке (в единицах «МэВ») в формате “real” для действительных чисел.

N-я строка: Название изотопа и его состояние (основное, 1-ое, 2-ое метастабильное и т.д.).

(N+1) –я строка: Групповые значения выходов гамма-квантов в единицах «1/рас» для числа групп, заданных в 1-ой строке. Каждая строка записи содержит шесть значений выходов в формате «10E2».

Таблица 7. Групповое представление выходов гамма-квантов при распаде ядра Sb-126 для основного и метастабильных состояний (JEFF-3.1.1)

38					
0.00	0.01	0.03	0.05	0.07	0.10
0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4
0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7
0.8	1.0	1.4	1.8	2.2	2.6
2.8	3.25	3.75	4.25	4.75	5.0
5.25	5.75	6.25	6.75	7.5	9.0
11	13	15			
* * * * *	* * * * *	* * * * *	* * * * *	* * * * *	* * * * *
51-Sb-126					
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	4.000E-03
0.000E+00	1.900E-02	7.600E-02	0.000E+00	0.000E+00	8.460E-01
0.000E+00	0.000E+00	1.600E-01	1.800E-02	2.373E+00	5.380E-01
2.630E-01	4.200E-02	3.000E-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	0.000E+00	0.000E+00
51-Sb-126M					
0.000E+00	4.300E-07	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	8.256E-01
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.720E-02	1.720E+00	0.000E+00
1.462E-02	2.752E-02	5.160E-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	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
51-Sb-126N					
0.000E+00	1.340E-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	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

В Приложении представлены каталоги групповой библиотеки и библиотеки выходов дискретных гамма-квантов, подготовленные для ENDF/B-VII.0 и JEFF-3.1.1.

7. Расчет радиационных характеристик для смеси продуктов деления и актинидов

На основе сформированных библиотек гамма-выходов проведены расчеты радиационных характеристик облученного топлива в реакторе ГТ-МГР [9, 15] с загрузкой оксидного плутониевого топлива типа

PuO_2 . В работе [15] приведены результаты расчета нейтронных полей, выполненные для различных уровней выжигания Pu-239 (до $W=90\%$ т.а.). Подобные исследования необходимы, прежде всего, для понимания изменения состава исходного топлива при высоких уровнях выгорания и анализа накопления минорных актинидов. Для реактора ГТ-МГР представлено изменение содержания изотопа Pu-239 в топливе в зависимости от времени работы реактора (рис.2). Уровень выгорания $W=40\%$, 65% , 90% т.а. соответствует 250, 500, 750 суткам работы реактора на заданном уровне мощности.

На рисунке 3 представлены характерные распределения нуклидного состава топлива на конец облучения и при охлаждении 1 год. Для объяснения такого распределения анализируется четыре группы элементов:

1-я группа ($Z=1-12$) определяется легкими элементами, образующимися при облучении топлива. Для оценки легких элементов, образующихся при делении тяжелых ядер, в современных библиотеках выходов продуктов деления используются различные механизмы. В модели тройного деления ядер плутония и минорных актинидов образуются ядра водорода (H-1, 2, 3), гелия (He 3, 4, 6, 8), лития (Li 6, 7, 8, 9), бериллия (Be 9, 10, 11, 12), бора (B-11, 12), углерода (C-12, 14) и азота (N-14). Изотопы водорода и гелия образуются также при ядерных реакциях на продуктах деления и актинидах в процессах (n,p) и (n,a). На основе указанных механизмов сформированы данные JEF-2.2, на базе которой проведены расчеты. Пик выходов при $Z=8$ (рис. 3а) обусловлен присутствием кислорода в исходном составе топлива. Ядра с $Z=10-12$ образуются в процессах радиационного захвата нейтронов ядрами кислорода с последующим распадом продуктов ядерных реакций по (β^-) каналу.

2-я группа ($Z=24-72$) образована продуктами двойного деления ядер плутония в PuO_2 топливе и образовавшихся при облучении минорных актинидов.

3-я группа ($72 < Z < 84$) в основном образована за счет альфа-распадов актинидов.

4-я группа ($Z > 90$) определяется изотопами плутония и накопленными при облучении минорными актинидами.

При охлаждении топлива за счет распада радионуклидов происходит изменение исходного состава облученного топлива. На рис. 3б видно, что наибольшие изменения в составе облученного топлива происходят в 3-ей группе элементов, где имеются короткоживущие элементы. Для элементов с $Z=40-42$ также наблюдаются заметные изменения в составе короткоживущих элементов.

Сравнительный анализ нуклидного состава облученного топлива ($W=40\%$ и $W=65\%$ т.а.) выполнен для времени охлаждения $T_{\text{охл}}=10, 100$ суток, 1 год и 10 лет на основе библиотек ENDF/B-VII.0 и JEFF-3.1.1.

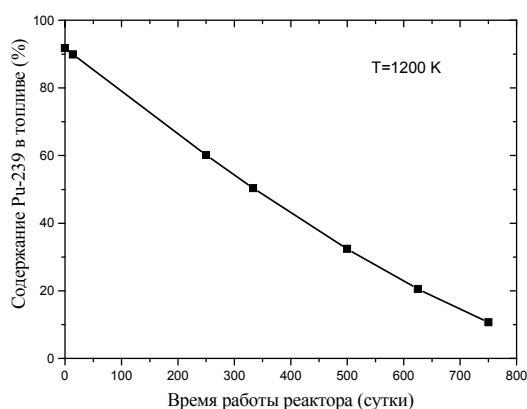


Рис.2 Содержание изотопа Pu-239 в плутониевом PuO_2 топливе в зависимости от времени работы реактора

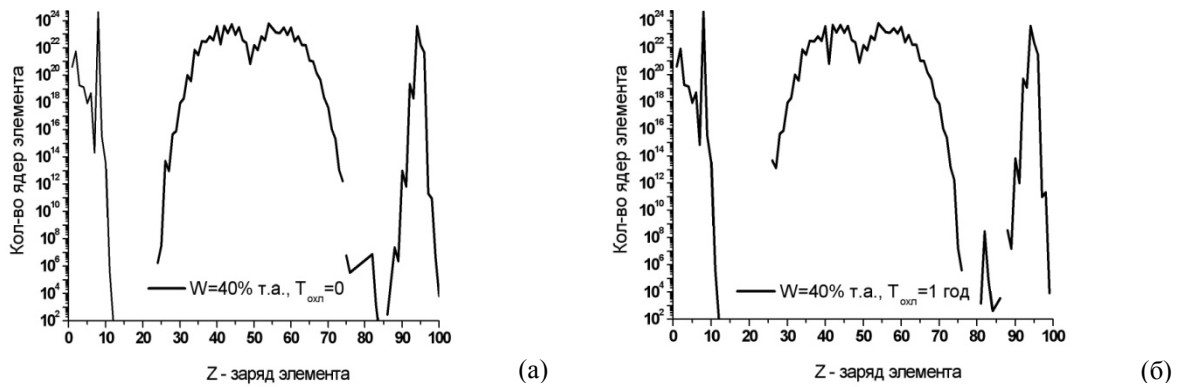


Рис.3 Распределение по Z состава облученного PuO_2 топлива (40% т.а.) на конец облучения (а) и для охлаждения 1 год (б)

Результаты расчетов интегральных выходов гамма-излучения в PuO_2 топливе с выгоранием 40% и 65% т.а. и различными временами охлаждения приведены в табл. 10. Анализ представленных значений показывает, что расчетные интегральные значения гамма-излучения, полученные на основе ENDF/B-VII.0 и JEFF-3.1.1, незначительно (порядка 1%) различаются между собой.

Таблица 10. Интегральные значения гамма-излучения PuO_2 топлива для ENDF/B-VII.0 и JEFF-3.1.1

Выгорание, % т.а.	Библиотека ядерных данных	Время охлаждения				
		0 сут	10 сут	100 сут	1 год	10 лет
40	ENDF/B-VII.0	3.73E+15	2.68E+14	6.06E+13	9.53E+12	8.60E+11
	JEFF-3.1.1	3.77E+15	2.70E+14	6.10E+13	9.59E+12	8.66E+11
65	ENDF/B-VII.0	7.26E+14	8.05E+13	2.82E+13	1.03E+13	1.29E+12
	JEFF-3.1.1	7.31E+14	8.11E+13	2.83E+13	1.03E+13	1.30E+12

На рисунках 4-12 для облученного топлива представлены расчетные данные интегральных выходов гамма-излучения для ENDF/B-VII и JEFF3.1.1. Полученные результаты дают полную картину по гамма-выходам облученного топлива в процессе его охлаждения.

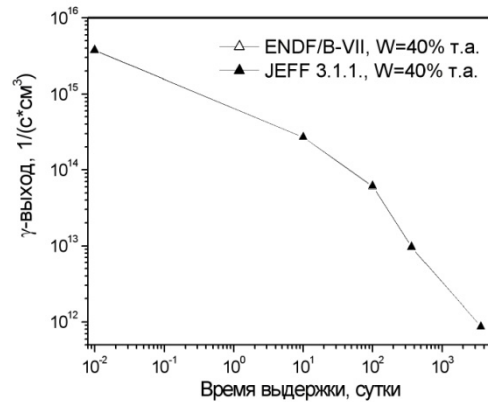
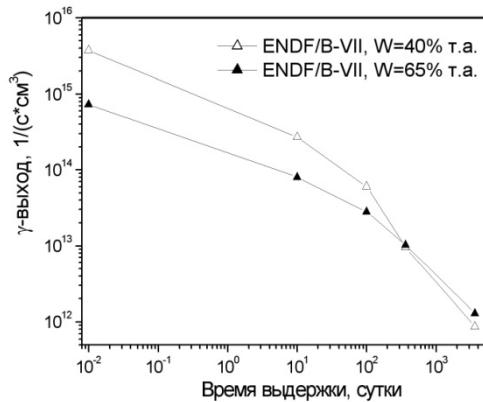
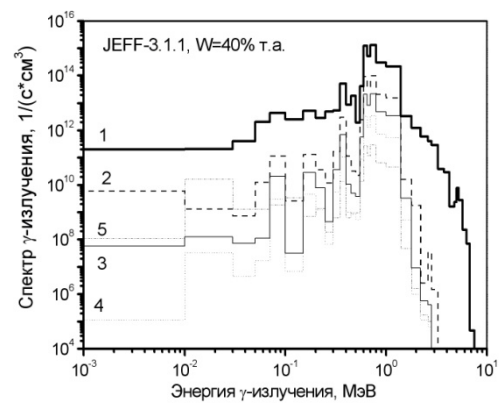
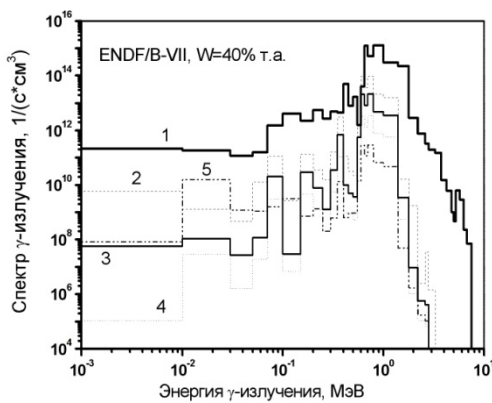


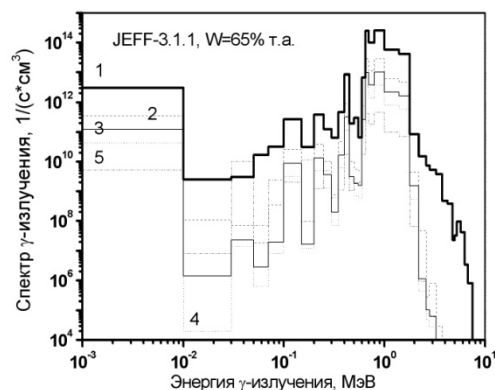
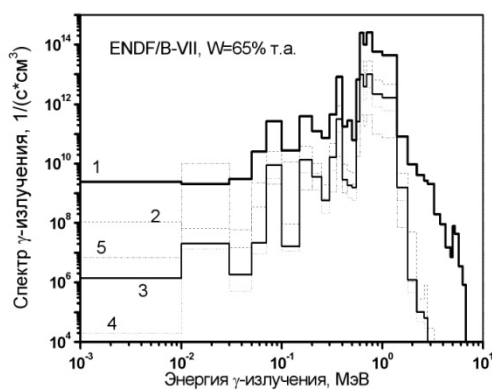
Рис.4 Выход гамма-квантов PuO_2 топлива ($W=40\%$, 65% т.а.) при $T_{охл} \leq 10$ лет для ENDF/B-VII.0 (аналогично для JEFF-3.1.1)



(а)

(б)

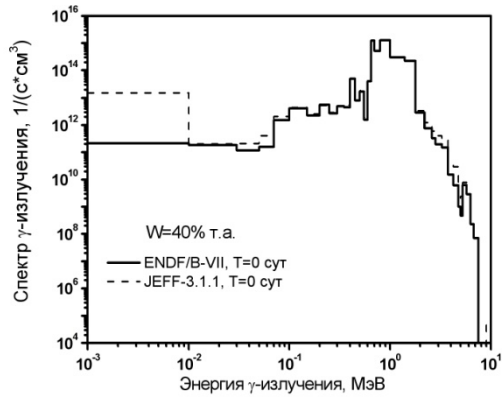
Рис.6 Спектр гамма-излучения PuO_2 топлива (40% т.а.) для ENDF/B-VII.0 (а) и JEFF-3.1.1 (б) на момент окончания облучения (1), $T_{охл} = 10$ сут (2), 100 сут (3), 1 год (4), 10 лет (5)



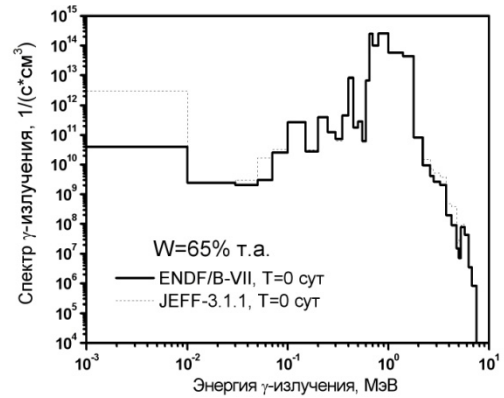
(а)

(б)

Рис.7 Спектр гамма-излучения PuO_2 топлива (65% т.а.) для ENDF/B-VII.0 (а) и JEFF-3.1.1 (б) на момент окончания облучения (1), $T_{охл} = 10$ сут (2), 100 сут (3), 1 год (4), 10 лет (5)

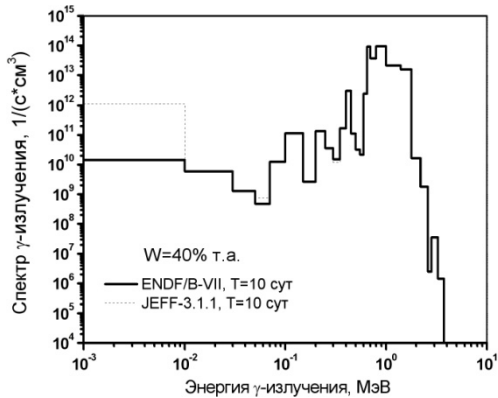


(а)

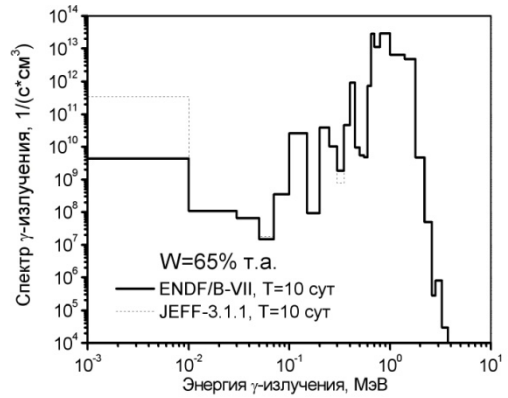


(б)

Рис.8 Сравнительные спектры гамма-излучения облученного PuO_2 топлива при $W=40\%$ т.а. (а) и $W=65\%$ т.а. (б) для ENDF/B-VII.0 и JEFF-3.1.1

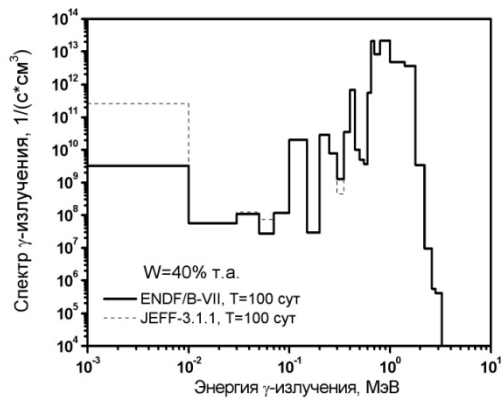


(а)

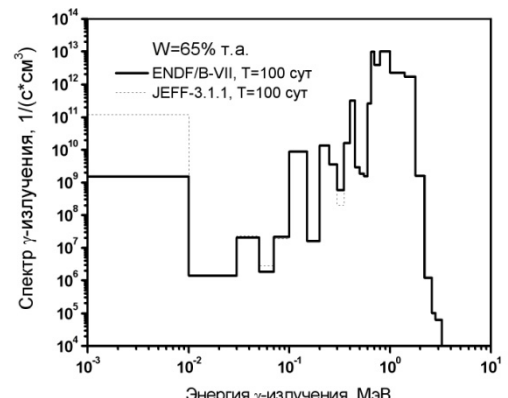


(б)

Рис.9 Сравнительные спектры гамма-излучения облученного PuO_2 топлива при $W=40\%$ т.а. (а) и $W=65\%$ т.а. (б) и $T_{охл} = 10$ сут для ENDF/B-VII.0 и JEFF-3.1.1

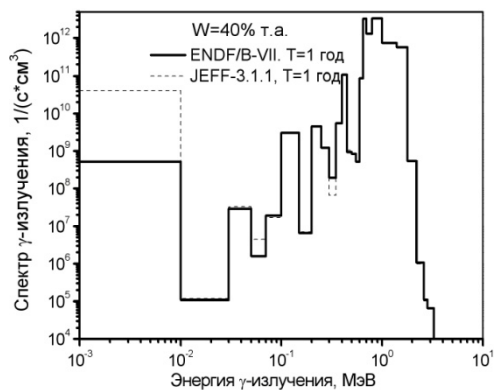


(а)

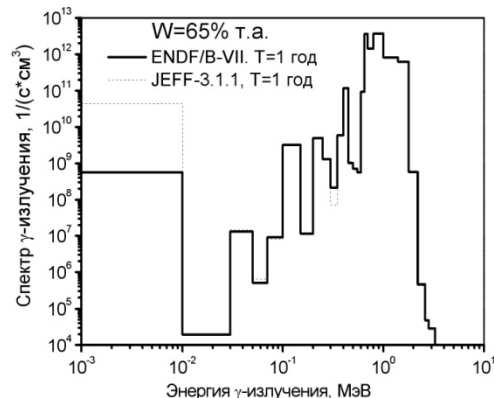


(б)

Рис.10 Сравнительные спектры гамма-излучения облученного PuO_2 топлива при $W=40\%$ т.а. (а) и $W=65\%$ т.а. (б) и $T_{охл} = 100$ сут для ENDF/B-VII.0 и JEFF-3.1.1.

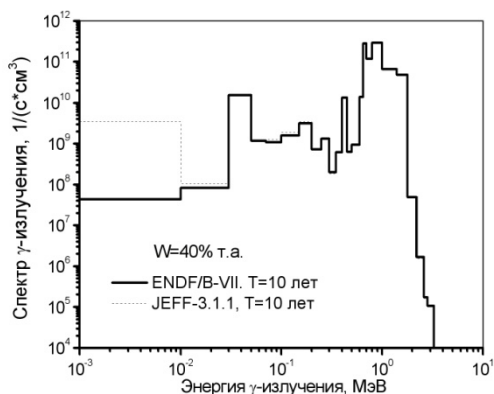


(a)

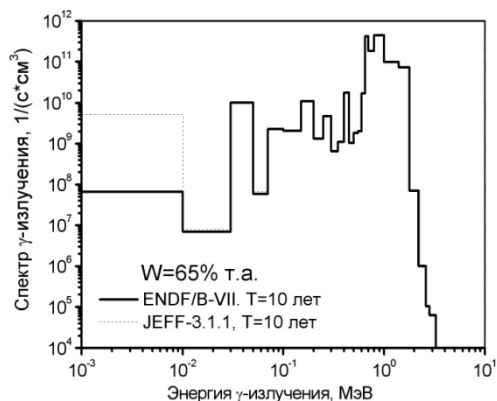


(б)

Рис.11 Сравнительные спектры гамма-излучения облученного PuO_2 топлива при выгорании $W=40\%$ т.а. (а) и $W=65\%$ т.а. (б) и $T_{охл}=1$ год для ENDF/B-VII.0 и JEFF-3.1.1



(a)



(б)

Рис.12 Сравнительные спектры гамма-излучения облученного PuO_2 топлива при $W=40\%$ т.а. (а) и $W=65\%$ т.а. (б) и $T_{охл}=10$ лет для ENDF/B-VII.0 и JEFF-3.1.1

В таблицах 11–14 приведены полные спектры гамма-излучения PuO_2 топлива в 38 групповом представлении для ENDF/B-VII.0 и JEFF-3.1.1.

Таблица 11. Спектры гамма-излучения (число гамма-квантов/(с*см³)) облученного PuO₂ топлива (40% т.а.) для ENDF/B-VII.0

№ группы	Верхняя граница E, МэВ	ENDF/B-VII.0, W=40% т.а.				
		Время выдержки				
		0 сут	10 сут	100 сут	1 год	10 лет
1	0.01	2.150E+11	1.447E+10	3.276E+09	5.160E+08	4.376E+07
2	0.03	1.843E+11	5.959E+09	5.705E+07	1.106E+05	8.280E+07
3	0.05	1.184E+11	1.294E+09	1.086E+08	2.919E+07	1.536E+10
4	0.07	1.575E+11	4.729E+08	2.705E+07	1.563E+06	1.183E+09
5	0.1	1.534E+12	1.250E+10	1.173E+08	1.906E+07	1.087E+09
6	0.15	4.104E+12	1.145E+11	2.056E+10	3.063E+09	1.585E+09
7	0.2	2.238E+12	2.635E+09	2.945E+07	6.605E+06	3.139E+09
8	0.25	5.670E+12	1.332E+11	2.901E+10	4.569E+09	7.282E+08
9	0.3	2.700E+12	3.604E+10	7.697E+09	1.206E+09	1.342E+09
10	0.35	4.962E+12	1.538E+10	1.275E+09	1.965E+08	2.001E+08
11	0.4	4.515E+12	1.663E+11	3.499E+10	5.510E+09	6.154E+08
12	0.45	5.073E+13	3.030E+12	6.855E+11	1.079E+11	1.357E+10
13	0.5	7.950E+12	1.109E+11	9.951E+09	9.444E+08	6.271E+08
14	0.55	1.739E+13	3.204E+10	4.949E+09	8.390E+08	9.412E+08
15	0.6	1.594E+12	2.196E+10	3.658E+09	5.195E+08	9.490E+08
16	0.65	4.029E+13	2.471E+12	5.578E+11	8.785E+10	1.390E+10
17	0.7	1.241E+15	9.276E+13	2.098E+13	3.304E+12	2.803E+11
18	0.8	5.257E+14	3.676E+13	8.308E+12	1.306E+12	1.189E+11
19	1.0	1.287E+15	9.526E+13	2.156E+13	3.396E+12	2.913E+11
20	1.4	3.045E+14	2.111E+13	4.778E+12	7.527E+11	6.538E+10
21	1.8	2.236E+14	1.592E+13	3.596E+12	5.664E+11	4.810E+10
22	2.2	2.854E+12	1.645E+10	3.436E+09	5.415E+08	4.925E+07
23	2.6	7.578E+11	1.791E+09	9.346E+06	1.053E+06	1.675E+06
24	2.8	3.290E+11	2.500E+06	5.539E+05	1.102E+05	1.732E+05
25	3.25	1.974E+11	3.522E+07	4.045E+05	6.599E+04	1.051E+05
26	3.75	1.486E+11	1.434E+06	8.689E+03	1.121E+03	1.785E+03
27	4.25	1.501E+10	3.204E-11	0	0	0
28	4.75	6.078E+09	0	0	0	0
29	5.0	9.960E+08	0	0	0	0
30	5.25	4.667E+08	0	0	0	0
31	5.75	6.394E+09	0	0	0	0
32	6.25	2.879E+09	0	0	0	0
33	6.75	2.271E+08	0	0	0	0
34	7.5	7.020E+07	0	0	0	0
35	9.0	1.330E-02	0	0	0	0
36	11	1.136E-02	0	0	0	0
37	13	0	0	0	0	0
38	15	0	0	0	0	0
Полный выход		3.73E+15	2.68E+14	6.06E+13	9.53E+12	8.60E+11

Таблица 12. Спектры гамма-излучения (число гамма-квантов/(с*см³)) облученного PuO₂ топлива (40% т.а.) для JEFF-3.1.1

№ группы	Верхняя граница E, МэВ	JEFF-3.1.1, W=40% т.а.				
		Время выдержки				
		0 сут	10 сут	100 сут	1 год	10 лет
1	0.01	1.516E+13	1.134E+12	2.562E+11	4.030E+10	3.416E+09
2	0.03	1.997E+11	5.893E+09	5.691E+07	1.177E+05	1.060E+08
3	0.05	2.066E+11	1.319E+09	1.239E+08	3.276E+07	1.609E+10
4	0.07	4.008E+11	7.449E+08	7.226E+07	4.374E+06	1.264E+09
5	0.1	2.048E+12	1.255E+10	1.108E+08	1.690E+07	1.282E+09
6	0.15	4.465E+12	1.149E+11	2.056E+10	3.058E+09	1.878E+09
7	0.2	2.535E+12	2.650E+09	3.073E+07	6.950E+06	3.401E+09
8	0.25	5.291E+12	1.320E+11	2.867E+10	4.508E+09	7.170E+08
9	0.3	2.849E+12	3.651E+10	7.785E+09	1.218E+09	1.383E+09
10	0.35	4.979E+12	1.185E+10	4.461E+08	6.578E+07	1.834E+08
11	0.4	5.497E+12	1.692E+11	3.560E+10	5.601E+09	6.224E+08
12	0.45	5.166E+13	3.061E+12	6.910E+11	1.087E+11	1.364E+10
13	0.5	8.759E+12	1.138E+11	1.056E+10	1.038E+09	6.294E+08
14	0.55	1.848E+13	3.204E+10	4.973E+09	8.421E+08	9.294E+08
15	0.6	1.975E+12	2.224E+10	3.719E+09	5.287E+08	9.517E+08
16	0.65	4.232E+13	2.501E+12	5.632E+11	8.859E+10	1.400E+10
17	0.7	1.243E+15	9.305E+13	2.101E+13	3.305E+12	2.805E+11
18	0.8	5.238E+14	3.665E+13	8.264E+12	1.298E+12	1.183E+11
19	1.0	1.308E+15	9.684E+13	2.187E+13	3.440E+12	2.952E+11
20	1.4	3.040E+14	2.102E+13	4.748E+12	7.469E+11	6.492E+10
21	1.8	2.169E+14	1.543E+13	3.479E+12	5.472E+11	4.649E+10
22	2.2	3.316E+12	1.581E+10	3.283E+09	5.166E+08	4.684E+07
23	2.6	1.216E+12	1.787E+09	8.935E+06	9.727E+05	1.548E+06
24	2.8	5.945E+11	2.535E+06	5.623E+05	1.117E+05	1.752E+05
25	3.25	4.101E+11	3.491E+07	3.953E+05	6.422E+04	1.023E+05
26	3.75	2.898E+11	1.472E+06	8.606E+03	1.088E+03	1.733E+03
27	4.25	3.805E+10	3.211E-11	0	0	0
28	4.75	2.898E+10	0	0	0	0
29	5.0	1.618E+09	0	0	0	0
30	5.25	2.413E+09	0	0	0	0
31	5.75	7.846E+09	0	0	0	0
32	6.25	2.826E+09	0	0	0	0
33	6.75	2.267E+08	0	0	0	0
34	7.5	6.925E+07	0	0	0	0
35	9.0	4.744E+04	0	0	0	0
36	11	1.136E-02	0	0	0	0
37	13	0	0	0	0	0
38	15	0	0	0	0	0
Полный выход		3.768E+15	2.704E+14	6.099E+13	9.592E+12	8.660E+11

Таблица 13. Спектры гамма-излучения (число гамма-квантов/(с*см³)) облученного PuO₂ топлива (65% т.а.) для ENDF/B-VII.0

№ группы	Верхняя граница E, МэВ	ENDF/B-VII.0, W=65% т.а.				
		Время выдержки				
		0 сут	10 сут	100 сут	1 год	10 лет
1	0.01	3.969E+10	4.387E+09	1.533E+09	5.591E+08	6.616E+07
2	0.03	2.408E+09	1.081E+08	1.395E+06	1.960E+04	6.954E+06
3	0.05	2.095E+09	6.549E+07	2.039E+07	1.331E+07	1.014E+10
4	0.07	3.039E+09	1.474E+07	1.823E+06	5.055E+05	5.868E+07
5	0.1	2.539E+10	3.526E+08	2.156E+07	9.151E+06	2.307E+09
6	0.15	2.692E+11	2.584E+10	8.859E+09	3.224E+09	2.053E+09
7	0.2	2.816E+10	9.383E+07	1.614E+07	1.143E+07	1.103E+10
8	0.25	4.007E+11	3.893E+10	1.357E+10	4.951E+09	1.333E+09
9	0.3	1.225E+11	1.033E+10	3.588E+09	1.309E+09	4.767E+09
10	0.35	7.399E+10	1.875E+09	5.852E+08	2.131E+08	6.546E+08
11	0.4	4.538E+11	4.705E+10	1.637E+10	5.971E+09	1.108E+09
12	0.45	8.416E+12	9.176E+11	3.205E+11	1.169E+11	1.771E+10
13	0.5	1.776E+11	9.620E+09	2.888E+09	1.009E+09	1.048E+09
14	0.55	2.872E+11	5.513E+09	1.873E+09	7.108E+08	1.844E+09
15	0.6	6.183E+10	4.860E+09	1.569E+09	5.638E+08	2.022E+09
16	0.65	6.804E+12	7.460E+11	2.606E+11	9.507E+10	1.734E+10
17	0.7	2.525E+14	2.809E+13	9.813E+12	3.580E+12	4.244E+11
18	0.8	1.001E+14	1.110E+13	3.878E+12	1.415E+12	1.833E+11
19	1.0	2.597E+14	2.887E+13	1.009E+13	3.680E+12	4.468E+11
20	1.4	5.787E+13	6.398E+12	2.235E+12	8.154E+11	9.871E+10
21	1.8	4.340E+13	4.816E+12	1.683E+12	6.138E+11	7.281E+10
22	2.2	8.103E+10	4.702E+09	1.591E+09	5.801E+08	7.055E+07
23	2.6	9.582E+09	4.897E+07	1.203E+06	4.569E+05	1.014E+06
24	2.8	4.184E+09	2.784E+05	1.036E+05	4.775E+04	1.048E+05
25	3.25	2.685E+09	8.032E+05	6.412E+04	2.864E+04	6.363E+04
26	3.75	2.044E+09	2.942E+04	1.142E+03	4.867E+02	1.081E+03
27	4.25	1.940E+08	7.682E-13	0	0	0
28	4.75	9.105E+07	0	0	0	0
29	5.0	1.494E+07	0	0	0	0
30	5.25	7.232E+06	0	0	0	0
31	5.75	7.885E+07	0	0	0	0
32	6.25	4.248E+07	0	0	0	0
33	6.75	3.442E+06	0	0	0	0
34	7.5	8.207E+05	0	0	0	0
35	9.0	2.285E-04	0	0	0	0
36	11	1.952E-04	0	0	0	0
37	13	0	0	0	0	0
38	15	0	0	0	0	0
Полный выход		7.26E+14	8.05E+13	2.82E+13	1.03E+13	1.29E+12

Таблица 14. Спектры гамма-излучения (число гамма-квантов/(с*см³)) облученного PuO₂ топлива (65% т.а.) для JEFF-3.1.1

№ группы	Верхняя граница E, МэВ	JEFF-3.1.1, W=65% т.а,				
		Время выдержки				
		0 сут	10 сут	100 сут	1 год	10 лет
1	0.01	3.062E+12	3.407E+11	1.190E+11	4.346E+10	5.134E+09
2	0.03	2.476E+09	1.059E+08	1.380E+06	1.986E+04	7.940E+06
3	0.05	3.074E+09	7.112E+07	2.276E+07	1.431E+07	1.016E+10
4	0.07	1.677E+10	1.827E+07	2.747E+06	6.328E+05	6.781E+07
5	0.1	3.217E+10	3.467E+08	1.923E+07	8.098E+06	2.362E+09
6	0.15	2.721E+11	2.567E+10	8.796E+09	3.204E+09	2.067E+09
7	0.2	3.112E+10	9.509E+07	1.645E+07	1.164E+07	1.126E+10
8	0.25	3.879E+11	3.818E+10	1.331E+10	4.858E+09	1.256E+09
9	0.3	1.238E+11	1.038E+10	3.603E+09	1.315E+09	4.871E+09
10	0.35	6.351E+10	7.610E+08	1.957E+08	7.106E+07	6.127E+08
11	0.4	4.703E+11	4.755E+10	1.654E+10	6.038E+09	1.110E+09
12	0.45	8.432E+12	9.185E+11	3.208E+11	1.171E+11	1.773E+10
13	0.5	1.925E+11	1.036E+10	3.148E+09	1.104E+09	1.031E+09
14	0.55	2.987E+11	5.497E+09	1.868E+09	7.098E+08	1.781E+09
15	0.6	6.664E+10	4.902E+09	1.586E+09	5.707E+08	2.015E+09
16	0.65	6.843E+12	7.480E+11	2.612E+11	9.544E+10	1.734E+10
17	0.7	2.510E+14	2.793E+13	9.756E+12	3.563E+12	4.219E+11
18	0.8	9.894E+13	1.097E+13	3.833E+12	1.399E+12	1.812E+11
19	1.0	2.615E+14	2.908E+13	1.016E+13	3.709E+12	4.499E+11
20	1.4	5.711E+13	6.311E+12	2.205E+12	8.052E+11	9.739E+10
21	1.8	4.170E+13	4.627E+12	1.615E+12	5.900E+11	6.994E+10
22	2.2	8.364E+10	4.465E+09	1.507E+09	5.504E+08	6.678E+07
23	2.6	1.512E+10	4.833E+07	1.120E+06	4.200E+05	9.319E+05
24	2.8	7.350E+09	2.804E+05	1.044E+05	4.814E+04	1.055E+05
25	3.25	5.237E+09	7.871E+05	6.206E+04	2.773E+04	6.157E+04
26	3.75	3.741E+09	2.980E+04	1.106E+03	4.698E+02	1.043E+03
27	4.25	4.783E+08	7.631E-13	0	0	0
28	4.75	3.791E+08	0	0	0	0
29	5.0	2.275E+07	0	0	0	0
30	5.25	3.226E+07	0	0	0	0
31	5.75	9.667E+07	0	0	0	0
32	6.25	4.158E+07	0	0	0	0
33	6.75	3.414E+06	0	0	0	0
34	7.5	8.029E+05	0	0	0	0
35	9.0	7.835E+01	0	0	0	0
36	11	1.939E-04	0	0	0	0
37	13	0	0	0	0	0
38	15	0	0	0	0	0
Полный выход		7.307E+14	8.108E+13	2.833E+13	1.034E+13	1.299E+12

8. Заключение

В данной работе проанализировано современное состояние оцененных ядерных данных по радиационным характеристикам радионуклидов, содержащихся в различных национальных и международных библиотеках оцененных ядерных данных. Разработан пакет специализированных вычислительных процедур по обработке ядерных данных в формате endf-6 и подготовке на их основе библиотек групповых констант для практических расчетов гамма-излучения в облученных материалах. На основе широко используемых библиотек оцененных ядерных данных ENDF/B-VII.0 и JEFF-3.1.1 подготовлены данные в групповом энергетическом представлении по гамма-излучению радионуклидов.

Для облученного оксидного плутониевого топлива реактора ГТ-МГР проведены расчеты характеристик гамма-излучения и показан уровень различия в гамма-спектрах при использовании библиотек ENDF/B-VII.0 и JEFF-3.1.1. Проанализировано влияние уровня выгорания топлива на интегральные параметры образования гамма-квантов и их энергетические спектры. Рассмотрена зависимость энергетических спектров от времени охлаждения топлива.

Полученные результаты могут служить основой для уточнения гамма характеристик облученного ядерного топлива и облученных материалов при решении различных практических задач.

Литература

1. **Гусев Н.**, Машкович В., Обвинцев Г. Гамма-излучение радиоактивных изотопов и продуктов деления. М., ГИ Ф-МЛ, 1958.
2. **Горбачев В.М.**, Замятин Ю.С., Лбов А.А. Взаимодействие излучений с ядрами тяжелых элементов и деление ядер. М., Атомиздат, 1976.
3. **Колобашкин В.М.**, Рубцов П.М., Ружанский П.А., Сидоренко В.Д. Радиационные характеристики облученного ядерного топлива. Справочник. М., Энергоатомиздат, 1983.
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). See also WWW page: <http://www.nea.fr/>.
8. **Katakura J.**, Yoshida T., Oyamatsu K. and Tachibana T. JENDL FP Decay Data File 2000. Report JAERI-1343 (2001).
9. **Kodochigov N.**, Sukharev Yu., Marova E. et al. Neutronic features of the GT-MHR reactor. J., Nucl.Eng.&Des., v.222 (2003), p.161-171.
10. **Блохин А.И.**, Дёмин Н.А., Манохин В.Н., Сипачев И.В., Блохин Д.А., Чернов В.М. Расчётный комплекс ACDAM для исследований ядерных физических свойств материалов в условиях длительного нейтронного облучения. ж. Перспективные материалы, №2, 2010, с.46-550.
11. **Nordborg C.** and Salvatores M. "Status of the JEF Evaluated Data Library", Proceedings of International Conference on Nuclear Data for Science and Technology, Gatlinburg, Tennessee, USA, May 9-13, 1994, Vol. 2, p.680 (1994).
12. **Pashchenko A.B.**, Wienke H., Kopecky J., Sublet J.-Ch., Forrest R.A.. FENDL/A2.0 Neutron Activation Cross Section Data Library for Fusion Applications. Report IAEA-NDS-173, Vienna, 1998.
13. **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. Available online from: <http://www.nndc.bnl.gov>.
14. **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. ВАНТ, сер. Ядерные константы, 2010, вып. 1-2, стр.
15. **Блохин А.И.**, Митенкова Е.Ф., Новиков Н.В. Влияние ядерных данных на скорости накопления актинидов в реакторах ВТГР с плутониевой загрузкой. ВАНТ, сер. Ядерные константы, 2006, вып. 1-2, стр. 110-120.

16. **Trellue H.R.** and Poston D.I. User's Manual for Monteburns, version 5B. Preprint LA-UR-99-4999, LANL (1999).
17. **ANS-6.1.1** Working Group, Battat M.E. (Chairman), "American National Standard Neutron and Gamma-Ray Flux-to-Dose Rate Factors", ANSI/ANS-6.1.1-1977(N666), American Nuclear Society, La-Grange Park, Illinois (1977).
18. **ICRP Committee 3** Task Group, Grande P. and O'Riordan M.C., chairmen, "Data for Protection Against Ionizing Radiation from External Sources: Supplement to ICRP Publication 15", ICRP-21, International Commission on Radiological Protection, Pergamon Press (April 1971).

Приложение

Каталог библиотеки дискретных гамма-квантов для ENDF/B-VII.0

ИЗОТОП	ИЗОТОП	ИЗОТОП	ИЗОТОП	ИЗОТОП	ИЗОТОП	ИЗОТОП
4-Be- 7	5-B - 13 5-B - 14	6-C - 10 6-C - 15	7-N - 16	8-O - 14 8-O - 19 8-O - 20 8-O - 21	9-F - 20 9-F - 21 9-F - 23 9-F - 24	10-Ne- 18 10-Ne- 19 10-Ne- 23
11-Na- 21 11-Na- 22 11-Na- 24 11-Na- 24M 11-Na- 25 11-Na- 26 11-Na- 27 11-Na- 28	12-Mg- 22 12-Mg- 23 12-Mg- 27 12-Mg- 28 12-Mg- 29	13-Al- 24 13-Al- 25 13-Al- 26 13-Al- 28 13-Al- 29 13-Al- 30 13-Al- 31 13-Al- 32	14-Si- 26 14-Si- 31 14-Si- 35	15-P - 28 15-P - 30 15-P - 34	16-S - 30 16-S - 31 16-S - 37 16-S - 38 16-S - 39 16-S - 40	17-Cl- 33 17-Cl- 34M 17-Cl- 38 17-Cl- 38M 17-Cl- 39 17-Cl- 40
18-Ar- 34 18-Ar- 35 18-Ar- 41 18-Ar- 43	19-K - 37 19-K - 38 19-K - 40 19-K - 42 19-K - 43 19-K - 44 19-K - 45 19-K - 46 19-K - 47 19-K - 48	20-Ca- 38 20-Ca- 39 20-Ca- 45 20-Ca- 47 20-Ca- 49 20-Ca- 50 20-Ca- 51 20-Ca- 52	21-Sc- 41 21-Sc- 42 21-Sc- 42M 21-Sc- 43 21-Sc- 44 21-Sc- 46 21-Sc- 46M 21-Sc- 47 21-Sc- 48 21-Sc- 49 21-Sc- 50 21-Sc- 50M 21-Sc- 51 21-Sc- 52	22-Ti- 42 22-Ti- 43 22-Ti- 44 22-Ti- 45 22-Ti- 51 22-Ti- 52	23-V - 44 23-V - 45 23-V - 46 23-V - 46M 23-V - 47 23-V - 48 23-V - 50 23-V - 52 23-V - 53 23-V - 54 23-V - 55	24-Cr- 47 24-Cr- 48 24-Cr- 49 24-Cr- 51 24-Cr- 55 24-Cr- 56 24-Cr- 57
25-Mn- 49 25-Mn- 50 25-Mn- 51 25-Mn- 52 25-Mn- 52M 25-Mn- 54 25-Mn- 56 25-Mn- 57 25-Mn- 58 25-Mn- 59 25-Mn- 61 25-Mn- 62	26-Fe- 51 26-Fe- 52 26-Fe- 52M 26-Fe- 53 26-Fe- 53M 26-Fe- 55 26-Fe- 59 26-Fe- 62 26-Fe- 64	27-Co- 53 27-Co- 54 27-Co- 54M 27-Co- 55 27-Co- 56 27-Co- 57 27-Co- 58 27-Co- 58M 27-Co- 60 27-Co- 60M 27-Co- 61 27-Co- 62 27-Co- 63 27-Co- 64 27-Co- 65 27-Co- 66 27-Co- 67 27-Co- 68	28-Ni- 56 28-Ni- 57 28-Ni- 65 28-Ni- 67 28-Ni- 68M 28-Ni- 69 28-Ni- 70	29-Cu- 57 29-Cu- 58 29-Cu- 59 29-Cu- 60 29-Cu- 61 29-Cu- 62 29-Cu- 64 29-Cu- 66 29-Cu- 67 29-Cu- 68 29-Cu- 69 29-Cu- 70 29-Cu- 70M 29-Cu- 70N 29-Cu- 72 29-Cu- 73	30-Zn- 60 30-Zn- 61 30-Zn- 62 30-Zn- 63 30-Zn- 65 30-Zn- 69 30-Zn- 69M 30-Zn- 71 30-Zn- 71M 30-Zn- 72 30-Zn- 73 30-Zn- 75 30-Zn- 76 30-Zn- 77	31-Ga- 60 31-Ga- 61 31-Ga- 63 31-Ga- 64 31-Ga- 65 31-Ga- 66 31-Ga- 67 31-Ga- 68 31-Ga- 70 31-Ga- 72 31-Ga- 73 31-Ga- 74 31-Ga- 76 31-Ga- 78
32-Ge- 65 32-Ge- 66 32-Ge- 67 32-Ge- 69 32-Ge- 71M 32-Ge- 73M 32-Ge- 75 32-Ge- 75M	33-As- 67 33-As- 68 33-As- 69 33-As- 70 33-As- 71 33-As- 72 33-As- 74 33-As- 75M	34-Se- 69 34-Se- 70 34-Se- 71 34-Se- 72 34-Se- 73 34-Se- 73M 34-Se- 75 34-Se- 77M	35-Br- 72 35-Br- 73 35-Br- 74 35-Br- 74M 35-Br- 75 35-Br- 76 35-Br- 77 35-Br- 77M	36-Kr- 74 36-Kr- 75 36-Kr- 77 36-Kr- 79 36-Kr- 79M 36-Kr- 81 36-Kr- 85 36-Kr- 87	37-Rb- 76 37-Rb- 77 37-Rb- 78 37-Rb- 79 37-Rb- 80 37-Rb- 82 37-Rb- 82M 37-Rb- 83	38-Sr- 79 38-Sr- 80 38-Sr- 81 38-Sr- 83 38-Sr- 83M 38-Sr- 85 38-Sr- 87M 38-Sr- 91

32-Ge- 77 32-Ge- 77M 32-Ge- 78 32-Ge- 79 32-Ge- 80 32-Ge- 81 32-Ge- 81M	33-As- 76 33-As- 77 33-As- 78 33-As- 79 33-As- 80 33-As- 81 33-As- 82	34-Se- 79M 34-Se- 81 34-Se- 83M 34-Se- 84	35-Br- 78 35-Br- 79M 35-Br- 80 35-Br- 82 35-Br- 83 35-Br- 84 35-Br- 84M 35-Br- 85 35-Br- 86 35-Br- 87 35-Br- 88 35-Br- 89 35-Br- 90	36-Kr- 88 36-Kr- 89 36-Kr- 91 36-Kr- 92 36-Kr- 93	37-Rb- 84 37-Rb- 84M 37-Rb- 86 37-Rb- 86M 37-Rb- 88 37-Rb- 89 37-Rb- 92 37-Rb- 93 37-Rb- 94 37-Rb- 96 37-Rb- 97	38-Sr- 92 38-Sr- 93 38-Sr- 94 38-Sr- 96 38-Sr- 98 38-Sr- 99
39-Y - 81 39-Y - 84 39-Y - 86 39-Y - 86M 39-Y - 87M 39-Y - 88 39-Y - 89M 39-Y - 90 39-Y - 91 39-Y - 91M 39-Y - 92 39-Y - 93 39-Y - 93M 39-Y - 94 39-Y - 96 39-Y - 97 39-Y - 98 39-Y - 99 39-Y - 99M	40-Zr- 83 40-Zr- 85 40-Zr- 87 40-Zr- 87M 40-Zr- 88 40-Zr- 88M 40-Zr- 89 40-Zr- 90M 40-Zr- 95 40-Zr-100 40-Zr-101 40-Zr-102	41-Nb- 84 41-Nb- 87M 41-Nb- 88M 41-Nb- 89 41-Nb- 89M 41-Nb- 91N 41-Nb- 92M 41-Nb- 93M 41-Nb- 94 41-Nb- 95 41-Nb- 96 41-Nb- 97 41-Nb- 97M 41-Nb- 98 41-Nb- 98M 41-Nb- 99 41-Nb-100 41-Nb-101 41-Nb-102	42-Mo- 89 42-Mo- 90 42-Mo- 91 42-Mo-91M 42-Mo- 99 42-Mo-101 42-Mo-102 42-Mo-105	43-Tc- 93 43-Tc- 94 43-Tc- 94M 43-Tc- 95 43-Tc- 96 43-Tc- 97M 43-Tc- 98 43-Tc- 99 43-Tc- 99M 43-Tc-100 43-Tc-101 43-Tc-102 43-Tc-103 43-Tc-104 43-Tc-105 43-Tc-106 43-Tc-107	44-Ru- 93 44-Ru- 94 44-Ru- 95 44-Ru- 97 44-Ru-103 44-Ru-103M 44-Ru-105 44-Ru-107 44-Ru-109 44-Ru-110 44-Ru-113	45-Rh- 94 45-Rh- 94M 45-Rh- 97 45-Rh- 98 45-Rh-100 45-Rh-101 45-Rh-102 45-Rh-104 45-Rh-105 45-Rh-105M 45-Rh-106 45-Rh-106M 45-Rh-107 45-Rh-108 45-Rh-108M 45-Rh-109
46-Pd- 96 46-Pd- 97 46-Pd- 98 46-Pd- 99 46-Pd-100 46-Pd-103 46-Pd-107M 46-Pd-109 46-Pd-109M 46-Pd-111 46-Pd-112 46-Pd-113 46-Pd-114 46-Pd-116 46-Pd-117M 46-Pd-118	47-Ag- 98 47-Ag-101 47-Ag-101M 47-Ag-102 47-Ag-103 47-Ag-105 47-Ag-106 47-Ag-106M 47-Ag-107M 47-Ag-108 47-Ag-108M 47-Ag-109M 47-Ag-110 47-Ag-110M 47-Ag-111 47-Ag-112 47-Ag-113 47-Ag-114 47-Ag-115 47-Ag-116 47-Ag-116M 47-Ag-121 47-Ag-122 47-Ag-123	48-Cd-100 48-Cd-101 48-Cd-102 48-Cd-107 48-Cd-109M 48-Cd-109N 48-Cd-111M 48-Cd-113M 48-Cd-115 48-Cd-115M 48-Cd-117 48-Cd-117M 48-Cd-119 48-Cd-119M 48-Cd-121 48-Cd-121M 48-Cd-123 48-Cd-123M 48-Cd-125 48-Cd-125M	49-In-105 49-In-105M 49-In-107 49-In-107M 49-In-109 49-In-109M 49-In-109N 49-In-110M 49-In-111 49-In-111M 49-In-112 49-In-112M 49-In-113M 49-In-114 49-In-114M 49-In-116 49-In-116M 49-In-116N 49-In-117 49-In-118 49-In-120 49-In-121 49-In-122 49-In-123 49-In-124 49-In-124M 49-In-125	50-Sn-104 50-Sn-106 50-Sn-108 50-Sn-109 50-Sn-110 50-Sn-111 50-Sn-113 50-Sn-117M 50-Sn-119M 50-Sn-121M 50-Sn-123 50-Sn-123M 50-Sn-125 50-Sn-125M 50-Sn-126 50-Sn-128M 50-Sn-130 50-Sn-132	51-Sb-109 51-Sb-110 51-Sb-111 51-Sb-112 51-Sb-114 51-Sb-115 51-Sb-115M 51-Sb-116 51-Sb-116M 51-Sb-117 51-Sb-118 51-Sb-118M 51-Sb-119 51-Sb-120 51-Sb-122 51-Sb-124 51-Sb-125 51-Sb-126 51-Sb-126M 51-Sb-127 51-Sb-130 51-Sb-134 51-Sb-135	52-Te-113 52-Te-114 52-Te-115 52-Te-115M 52-Te-115N 52-Te-116 52-Te-117 52-Te-117M 52-Te-119 52-Te-119M 52-Te-121 52-Te-123M 52-Te-127 52-Te-129 52-Te-129M 52-Te-131 52-Te-131M 52-Te-132 52-Te-133 52-Te-134 52-Te-134M 52-Te-135 52-Te-135M 52-Te-136

			49-In-126 49-In-127 49-In-128 49-In-129 49-In-129M			
53-I -118 53-I -118M 53-I -119 53-I -120 53-I -121 53-I -122 53-I -123 53-I -124 53-I -125 53-I -126 53-I -128 53-I -129 53-I -130 53-I -131 53-I -132 53-I -133 53-I -134 53-I -134M 53-I -135 53-I -136 53-I -137 53-I -138 53-I -139	54-Xe-120 54-Xe-121 54-Xe-122 54-Xe-123 54-Xe-125 54-Xe-127 54-Xe-127M 54-Xe-131M 54-Xe-132M 54-Xe-133 54-Xe-133M 54-Xe-134M 54-Xe-135 54-Xe-135M 54-Xe-137 54-Xe-138 54-Xe-139	55-Cs-121 55-Cs-121M 55-Cs-122 55-Cs-123 55-Cs-123M 55-Cs-124 55-Cs-125 55-Cs-126 55-Cs-127 55-Cs-128 55-Cs-129 55-Cs-130 55-Cs-132 55-Cs-134 55-Cs-134M 55-Cs-135M 55-Cs-136 55-Cs-137 55-Cs-138 55-Cs-138M 55-Cs-139 55-Cs-142 55-Cs-143 55-Cs-145	56-Ba-124 56-Ba-126 56-Ba-127 56-Ba-128 56-Ba-129 56-Ba-130M 56-Ba-131 56-Ba-131M 56-Ba-133 56-Ba-134M 56-Ba-135M 56-Ba-136M 56-Ba-137M 56-Ba-139 56-Ba-140 56-Ba-141 56-Ba-142 56-Ba-147	57-La-129 57-La-130 57-La-131 57-La-132 57-La-133 57-La-135 57-La-138 57-La-140 57-La-141 57-La-146 57-La-147 57-La-148	58-Ce-130 58-Ce-132 58-Ce-133 58-Ce-133M 58-Ce-134 58-Ce-135 58-Ce-135M 58-Ce-137 58-Ce-138M 58-Ce-139 58-Ce-139M 58-Ce-141 58-Ce-143 58-Ce-144 58-Ce-146	59-Pr-128 59-Pr-136 59-Pr-137 59-Pr-138 59-Pr-138M 59-Pr-139 59-Pr-140 59-Pr-142 59-Pr-143 59-Pr-144 59-Pr-145 59-Pr-150 59-Pr-152
60-Nd-132 60-Nd-134 60-Nd-134M 60-Nd-136 60-Nd-137M 60-Nd-138 60-Nd-139 60-Nd-141 60-Nd-141M 60-Nd-147 60-Nd-152	61-Pm-134 61-Pm-139 61-Pm-139M 61-Pm-140 61-Pm-141 61-Pm-142 61-Pm-143 61-Pm-144 61-Pm-145 61-Pm-146 61-Pm-147 61-Pm-148 61-Pm-148M 61-Pm-150 61-Pm-151 61-Pm-152M	62-Sm-136 62-Sm-139 62-Sm-141 62-Sm-142 62-Sm-143 62-Sm-143M 62-Sm-143N 62-Sm-145 62-Sm-151 62-Sm-153 62-Sm-153M 62-Sm-155 62-Sm-156 62-Sm-159	63-Eu-140 63-Eu-141 63-Eu-142 63-Eu-142M 63-Eu-143 63-Eu-144 63-Eu-145 63-Eu-146 63-Eu-147 63-Eu-148 63-Eu-152 63-Eu-152M 63-Eu-154 63-Eu-154M 63-Eu-155 63-Eu-156 63-Eu-157 63-Eu-159	64-Gd-141 64-Gd-141m 64-Gd-143 64-Gd- 64-Gd-145 64-Gd-146 64-Gd-149 64-Gd-151 64-Gd-153 64-Gd- 64-Gd- 64-Gd-159 64-Gd-161	65-Tb-142 65-Tb-144 65-Tb-147 65-Tb-148 65-Tb-149 65-Tb-149M 65-Tb-151 65-Tb-152 65-Tb-153 65-Tb-153M 65-Tb-155 65-Tb-156 65-Tb-156M 65-Tb-156N 65-Tb-158 65-Tb-160 65-Tb-161 65-Tb-162 65-Tb-163 65-Tb-165	66-Dy-148 66-Dy-149 66-Dy-149M 66-Dy-152 66-Dy-153 66-Dy-155 66-Dy-155M 66-Dy-157 66-Dy-157M 66-Dy-159 66-Dy-159M 66-Dy-165 66-Dy-167
67-Ho-149M 67-Ho-153 67-Ho-159 67-Ho-159M 67-Ho-161 67-Ho-161M 67-Ho-162 67-Ho-163M 67-Ho-164 67-Ho-166	68-Er-151 68-Er-152 68-Er-153 68-Er-154 68-Er-159 68-Er-160 68-Er-163 68-Er-167M 68-Er-169 68-Er-171	69-Tm-151 69-Tm-153 69-Tm-158 69-Tm-165 69-Tm-166 69-Tm-167 69-Tm-168 69-Tm-170 69-Tm-171 69-Tm-172	70-Yb-152 70-Yb-160 70-Yb-162 70-Yb-164 70-Yb-166 70-Yb-169 70-Yb-175 70-Yb-177 70-Yb-	71-Lu-171 71-Lu-172 71-Lu-172N 71-Lu-173 71-Lu-174 71-Lu-176 71-Lu-176M 71-Lu-177 71-Lu-178 71-Lu-179	72-Hf-173 72-Hf-175 72-Hf-178M 72-Hf-178N 72-Hf-179M 72-Hf-179N 72-Hf-181 72-Hf-182 72-Hf-182M 72-Hf-183	73-Ta-170 73-Ta-172 73-Ta-173 73-Ta-174 73-Ta-176 73-Ta-180 73-Ta-182 73-Ta-182N 73-Ta-183 73-Ta-184

67-Ho-166M 67-Ho-167	68-Er-172 68-Er-173	69-Tm-173 69-Tm-174	70-Yb-179	71-Lu-180 71-Lu-183	72-Hf-184	73-Ta-185 73-Ta-186
74-W -166 74-W -177 74-W -179 74-W -185 74-W -187 74-W -188 74-W -190	75-Re-176 75-Re-178 75-Re-180 75-Re-181 75-Re-182 75-Re-182M 75-Re-183 75-Re-186 75-Re-188 75-Re-189 75-Re-190	76-Os-171 76-Os-182 76-Os-190M 76-Os-191M 76-Os-193	77-Ir-183 77-Ir-187 77-Ir-189 77-Ir-189M 77-Ir-189N 77-Ir-190 77-Ir-190N 77-Ir-191M 77-Ir-192 77-Ir-194 77-Ir-194M 77-Ir-194N 77-Ir-195 77-Ir-195M 77-Ir-196	78-Pt-186 78-Pt-187 78-Pt-188 78-Pt-189 78-Pt-191 78-Pt-197 78-Pt-199 78-Pt-199M 78-Pt-200	79-Au-183 79-Au-186 79-Au-191 79-Au-192 79-Au-193 79-Au-194 79-Au-196 79-Au-196N 79-Au-198 79-Au-199 79-Au-199M 79-Au-200 79-Au-201 79-Au-202 79-Au-203 79-Au-205	80-Hg-186 80-Hg-188 80-Hg-190 80-Hg-192 80-Hg-195 80-Hg-203 80-Hg-205 80-Hg-205M 80-Hg-206
81-Tl-195M 81-Tl-196 81-Tl-197 81-Tl-197M 81-Tl-198 81-Tl-198M 81-Tl-199 81-Tl-199M 81-Tl-200 81-Tl-202 81-Tl-206 81-Tl-206M 81-Tl-207 81-Tl-208 81-Tl-209 81-Tl-210	82-Pb-188 82-Pb-194 82-Pb-196 82-Pb-197 82-Pb-198 82-Pb-199 82-Pb-200 82-Pb-201 82-Pb-203 82-Pb-203M 82-Pb-204M 82-Pb-207M 82-Pb-211 82-Pb-212 82-Pb-214	83-Bi-196 83-Bi-202 83-Bi-203M 83-Bi-204 83-Bi-204N 83-Bi-205 83-Bi-206 83-Bi-207 83-Bi-208 83-Bi-210M 83-Bi-211 83-Bi-213 83-Bi-214	84-Po-203 84-Po-203M 84-Po-205 84-Po-206 84-Po-207 84-Po-207M 84-Po-208 84-Po-209 84-Po-210 84-Po-211 84-Po-212M 84-Po-213 84-Po-214 84-Po-216	85-At-206 85-At-209 85-At-210 85-At-212M 85-At-216 85-At-217 85-At-220	86-Rn-209 86-Rn-210 86-Rn-218 86-Rn-219 86-Rn-220 86-Rn-221 86-Rn-222 86-Rn-225	87-Fr-219 87-Fr-220 87-Fr-221 87-Fr-222 87-Fr-223 87-Fr-224 87-Fr-226 87-Fr-227 87-Fr-228 87-Fr-231
88-Ra-213M 88-Ra-219 88-Ra-220 88-Ra-221 88-Ra-222 88-Ra-223 88-Ra-224 88-Ra-225 88-Ra-226 88-Ra-227 88-Ra-228	89-Ac-224 89-Ac-225 89-Ac-227 89-Ac-230 89-Ac-231 89-Ac-232 89-Ac-233	90-Th-223 90-Th-224 90-Th-226 90-Th-227 90-Th-228 90-Th-229 90-Th-230 90-Th-232 90-Th-233 90-Th-236	91-Pa-229 91-Pa-231 91-Pa-232 91-Pa-233 91-Pa-236 91-Pa-237	92-U -227 92-U -230 92-U -232 92-U -234 92-U -235 92-U -236 92-U -237 92-U -238 92-U -239 92-U -240	93-Np-232 93-Np-233 93-Np-234 93-Np-237 93-Np-238 93-Np-239 93-Np-241 93-Np-242	94-Pu-235 94-Pu-236 94-Pu-237 94-Pu-238 94-Pu-239 94-Pu-240 94-Pu-241 94-Pu-242 94-Pu-243 94-Pu-244 94-Pu-245 94-Pu-246
95-Am-238 95-Am-240 95-Am-241 95-Am-243 95-Am-244 95-Am-244M 95-Am-245 95-Am-246 95-Am-246M 95-Am-247	96-Cm-241 96-Cm-242 96-Cm-243 96-Cm-244 96-Cm-245 96-Cm-247 96-Cm-249 96-Cm-251	97-Bk-245 97-Bk-246 97-Bk-247 97-Bk-248M 97-Bk-249 97-Bk-250	98-Cf-246 98-Cf-248 98-Cf-249 98-Cf-250 98-Cf-251 98-Cf-252	99-Es-249 99-Es-250M 99-Es-252 99-Es-253	100-Fm-252 100-Fm-254 100-Fm-255 100-Fm-257	

Каталог библиотеки дискретных гамма-квантов для JEFF-3.1.1

ИЗОТОП	ИЗОТОП	ИЗОТОП	ИЗОТОП	ИЗОТОП	ИЗОТОП	ИЗОТОП
2-He- 8	4-Be- 7 4-Be- 11	5-B - 12 5-B - 13 5-B - 14	6-C - 10 6-C - 15	7-N - 12 7-N - 16 7-N - 17	8-O - 14 8-O - 19 8-O - 20 8-O - 21	9-F - 20 9-F - 21 9-F - 22 9-F - 24
10-Ne- 18 10-Ne- 19 10-Ne- 23	11-Na- 21 11-Na- 22 11-Na- 24 11-Na- 24M 11-Na- 25 11-Na- 26 11-Na- 27 11-Na- 28	12-Mg- 22 12-Mg- 23 12-Mg- 27 12-Mg- 28 12-Mg- 29	13-Al- 24 13-Al- 25 13-Al- 26 13-Al- 28 13-Al- 29 13-Al- 30 13-Al- 31 13-Al- 32	14-Si- 26 14-Si- 31 14-Si- 35 14-Si- 36	15-P - 28 15-P - 30 15-P - 34 15-P - 38	16-S - 30 16-S - 31 16-S - 37 16-S - 38 16-S - 39 16-S - 40
17-Cl- 33 17-Cl- 34M 17-Cl- 38 17-Cl- 38M 17-Cl- 39 17-Cl- 40	18-Ar- 34 18-Ar- 35 18-Ar- 41 18-Ar- 43	19-K - 35 19-K - 36 19-K - 37 19-K - 38 19-K - 40 19-K - 42 19-K - 43 19-K - 44 19-K - 45 19-K - 46 19-K - 47 19-K - 48	20-Ca- 38 20-Ca- 39 20-Ca- 45 20-Ca- 47 20-Ca- 49	21-Sc- 40 21-Sc- 41 21-Sc- 42 21-Sc- 42M 21-Sc- 43 21-Sc- 44 21-Sc- 44M 21-Sc- 46 21-Sc- 46M 21-Sc- 47 21-Sc- 48 21-Sc- 49 21-Sc- 50 21-Sc- 50M 21-Sc- 51 21-Sc- 52	22-Ti- 42 22-Ti- 43 22-Ti- 44 22-Ti- 45 22-Ti- 51 22-Ti- 52	23-V - 44 23-V - 45 23-V - 46 23-V - 46M 23-V - 47 23-V - 48 23-V - 50 23-V - 52 23-V - 53 23-V - 54 23-V - 55
24-Cr- 47 24-Cr- 48 24-Cr- 49 24-Cr- 51 24-Cr- 55 24-Cr- 56 24-Cr- 57	25-Mn- 49 25-Mn- 50 25-Mn- 51 25-Mn- 52 25-Mn- 52M 25-Mn- 54 25-Mn- 56 25-Mn- 57 25-Mn- 58 25-Mn- 58M 25-Mn- 59 25-Mn- 61 25-Mn- 62	26-Fe- 51 26-Fe- 52 26-Fe- 52M 26-Fe- 53 26-Fe- 53M 26-Fe- 55 26-Fe- 59 26-Fe- 62 26-Fe- 63 26-Fe- 64	27-Co- 53 27-Co- 54 27-Co- 54M 27-Co- 55 27-Co- 56 27-Co- 57 27-Co- 58 27-Co- 58M 27-Co- 60 27-Co- 60M 27-Co- 61 27-Co- 62 27-Co- 63 27-Co- 64 27-Co- 65 27-Co- 66 27-Co- 67 27-Co- 68	28-Ni- 57 28-Ni- 65 28-Ni- 67 28-Ni- 69	29-Cu- 57 29-Cu- 58 29-Cu- 59 29-Cu- 60 29-Cu- 61 29-Cu- 62 29-Cu- 64 29-Cu- 66 29-Cu- 67 29-Cu- 68 29-Cu- 69 29-Cu- 70 29-Cu- 72 29-Cu- 73	30-Zn- 59 30-Zn- 60 30-Zn- 61 30-Zn- 62 30-Zn- 63 30-Zn- 65 30-Zn- 69 30-Zn- 69M 30-Zn- 71 30-Zn- 71M 30-Zn- 72 30-Zn- 73 30-Zn- 75 30-Zn- 76 30-Zn- 80
31-Ga- 60 31-Ga- 63 31-Ga- 64 31-Ga- 65 31-Ga- 66 31-Ga- 67 31-Ga- 68 31-Ga- 70	32-Ge- 66 32-Ge- 69 32-Ge- 71M 32-Ge- 75 32-Ge- 77 32-Ge- 77M 32-Ge- 78 32-Ge- 79	33-As- 67 33-As- 68 33-As- 69 33-As- 70 33-As- 71 33-As- 72 33-As- 74 33-As- 76	34-Se- 69 34-Se- 70 34-Se- 71 34-Se- 72 34-Se- 73 34-Se- 75 34-Se- 79M 34-Se- 81	35-Br- 72 35-Br- 72M 35-Br- 74 35-Br- 74M 35-Br- 75 35-Br- 76 35-Br- 77 35-Br- 77M	36-Kr- 73 36-Kr- 75 36-Kr- 77 36-Kr- 79 36-Kr- 79M 36-Kr- 81 36-Kr- 81M 36-Kr- 83M	37-Rb- 76 37-Rb- 77 37-Rb- 78 37-Rb- 78M 37-Rb- 79 37-Rb- 80 37-Rb- 81M 37-Rb- 82

31-Ga- 72 31-Ga- 73 31-Ga- 74 31-Ga- 76 31-Ga- 77 31-Ga- 78 31-Ga- 80	32-Ge- 79M 32-Ge- 80 32-Ge- 81M 32-Ge- 82	33-As- 77 33-As- 78 33-As- 79 33-As- 80 33-As- 81 33-As- 82 33-As- 82M 33-As- 85	34-Se- 81M 34-Se- 83M 34-Se- 84 34-Se- 87	35-Br- 78 35-Br- 79M 35-Br- 80 35-Br- 80M 35-Br- 82 35-Br- 82M 35-Br- 83 35-Br- 84 35-Br- 84M 35-Br- 85 35-Br- 86 35-Br- 87 35-Br- 88 35-Br- 89 35-Br- 90 35-Br- 91	36-Kr- 85 36-Kr- 85M 36-Kr- 87 36-Kr- 88 36-Kr- 89 36-Kr- 91 36-Kr- 92 36-Kr- 93	37-Rb- 82M 37-Rb- 83 37-Rb- 84 37-Rb- 84M 37-Rb- 86 37-Rb- 86M 37-Rb- 88 37-Rb- 89 37-Rb- 90 37-Rb- 90M 37-Rb- 91 37-Rb- 92 37-Rb- 93 37-Rb- 94 37-Rb- 95 37-Rb- 96 37-Rb- 97 37-Rb-101
38-Sr- 77 38-Sr- 80 38-Sr- 83 38-Sr- 83M 38-Sr- 85 38-Sr- 85M 38-Sr- 87M 38-Sr- 89 38-Sr- 91 38-Sr- 92 38-Sr- 93 38-Sr- 94 38-Sr- 95 38-Sr- 96 38-Sr- 98 38-Sr- 99	39-Y - 80 39-Y - 81 39-Y - 84 39-Y - 84M 39-Y - 86 39-Y - 86M 39-Y - 88 39-Y - 89M 39-Y - 90 39-Y - 90M 39-Y - 91 39-Y - 91M 39-Y - 92 39-Y - 93 39-Y - 93M 39-Y - 94 39-Y - 95 39-Y - 96 39-Y - 96M 39-Y - 97 39-Y - 98 39-Y - 98M 39-Y - 99 39-Y -101	40-Zr- 83 40-Zr- 85 40-Zr- 87 40-Zr- 87M 40-Zr- 88 40-Zr- 89 40-Zr- 89M 40-Zr- 90M 40-Zr- 95 40-Zr- 97 40-Zr- 99 40-Zr-100 40-Zr-101 40-Zr-102	41-Nb- 84 41-Nb- 87 41-Nb- 87M 41-Nb- 89 41-Nb- 91M 41-Nb- 92 41-Nb- 92M 41-Nb- 93M 41-Nb- 94 41-Nb- 94M 41-Nb- 95 41-Nb- 95M 41-Nb- 96 41-Nb- 97 41-Nb- 97M 41-Nb- 98 41-Nb- 98M 41-Nb- 99 41-Nb- 99M 41-Nb-100 41-Nb-100M 41-Nb-101 41-Nb-102M	42-Mo- 87 42-Mo- 89 42-Mo- 91 42-Mo- 91M 42-Mo- 93 42-Mo- 93M 42-Mo- 99 42-Mo-101 42-Mo-102 42-Mo-103 42-Mo-105	43-Tc- 90 43-Tc- 93 43-Tc- 93M 43-Tc- 94 43-Tc- 94M 43-Tc- 95 43-Tc- 95M 43-Tc- 96 43-Tc- 97M 43-Tc- 98 43-Tc- 99 43-Tc- 99M 43-Tc-100 43-Tc-101 43-Tc-102 43-Tc-102M 43-Tc-103 43-Tc-104 43-Tc-105 43-Tc-106 43-Tc-107 43-Tc-111	44-Ru- 93 44-Ru- 94 44-Ru- 95 44-Ru- 97 44-Ru-103 44-Ru-103M 44-Ru-105 44-Ru-107 44-Ru-109 44-Ru-110 44-Ru-113
45-Rh- 94 45-Rh- 94M 45-Rh- 97 45-Rh- 97M 45-Rh- 98 45-Rh-100 45-Rh-101 45-Rh-102 45-Rh-102M 45-Rh-103M 45-Rh-104 45-Rh-104M 45-Rh-105 45-Rh-105M 45-Rh-106 45-Rh-106M 45-Rh-107	46-Pd- 96 46-Pd- 97 46-Pd- 98 46-Pd- 99 46-Pd-100 46-Pd-101 46-Pd-103 46-Pd-107M 46-Pd-109 46-Pd-109M 46-Pd-111 46-Pd-112 46-Pd-113 46-Pd-113M 46-Pd-114 46-Pd-116 46-Pd-117M	47-Ag- 97 47-Ag- 98 47-Ag-101 47-Ag-102 47-Ag-103 47-Ag-105 47-Ag-105M 47-Ag-106 47-Ag-106M 47-Ag-107M 47-Ag-108 47-Ag-108M 47-Ag-109M 47-Ag-110 47-Ag-110M 47-Ag-111 47-Ag-111M	48-Cd- 98 48-Cd-100 48-Cd-101 48-Cd-102 48-Cd-107 48-Cd-111M 48-Cd-113M 48-Cd-115 48-Cd-115M 48-Cd-117 48-Cd-117M 48-Cd-119 48-Cd-119M 48-Cd-121 48-Cd-121M 48-Cd-123 48-Cd-123M	49-In-102 49-In-105 49-In-105M 49-In-107 49-In-107M 49-In-109 49-In-109M 49-In-109N 49-In-110M 49-In-111 49-In-111M 49-In-112 49-In-112M 49-In-113M 49-In-114 49-In-114M 49-In-114N	50-Sn-104 50-Sn-106 50-Sn-108 50-Sn-110 50-Sn-113 50-Sn-113M 50-Sn-117M 50-Sn-119M 50-Sn-121M 50-Sn-123 50-Sn-123M 50-Sn-125 50-Sn-125M 50-Sn-126 50-Sn-128 50-Sn-128M 50-Sn-130	51-Sb-109 51-Sb-110 51-Sb-111 51-Sb-112 51-Sb-114 51-Sb-115 51-Sb-116 51-Sb-116M 51-Sb-117 51-Sb-118 51-Sb-118M 51-Sb-119 51-Sb-120 51-Sb-120M 51-Sb-122 51-Sb-122M 51-Sb-124

45-Rh-108 45-Rh-110 45-Rh-110M 45-Rh-112 45-Rh-112M 45-Rh-114 45-Rh-116 45-Rh-116M	46-Pd-118	47-Ag-113 47-Ag-113M 47-Ag-114 47-Ag-114M 47-Ag-115 47-Ag-115M 47-Ag-116 47-Ag-116M 47-Ag-121 47-Ag-122 47-Ag-123	48-Cd-125 48-Cd-125M	49-In-115M 49-In-116 49-In-116M 49-In-116N 49-In-117 49-In-117M 49-In-118 49-In-118M 49-In-120 49-In-120M 49-In-121 49-In-121M 49-In-122 49-In-122M 49-In-122N 49-In-123 49-In-123M 49-In-124 49-In-124M 49-In-125 49-In-126 49-In-127 49-In-128 49-In-129 49-In-129M 49-In-130 49-In-130M 49-In-130N 49-In-131 49-In-132	50-Sn-132 50-Sn-133	51-Sb-124M 51-Sb-124N 51-Sb-125 51-Sb-126 51-Sb-126M 51-Sb-126N 51-Sb-127 51-Sb-128 51-Sb-128M 51-Sb-129 51-Sb-129M 51-Sb-130 51-Sb-131 51-Sb-132 51-Sb-132M 51-Sb-133 51-Sb-134 51-Sb-135
52-Te-113 52-Te-114 52-Te-115 52-Te-115M 52-Te-116 52-Te-117 52-Te-117M 52-Te-119 52-Te-119M 52-Te-121 52-Te-121M 52-Te-123M 52-Te-125M 52-Te-127 52-Te-127M 52-Te-129 52-Te-129M 52-Te-131 52-Te-131M 52-Te-132 52-Te-133 52-Te-133M 52-Te-134 52-Te-135 52-Te-136	53-I -118 53-I -118M 53-I -119 53-I -120 53-I -121 53-I -122 53-I -123 53-I -124 53-I -125 53-I -126 53-I -128 53-I -129 53-I -130 53-I -131 53-I -132 53-I -132M 53-I -133 53-I -133M 53-I -134 53-I -134M 53-I -135 53-I -136 53-I -137 53-I -138 53-I -139	54-Xe-120 54-Xe-121 54-Xe-122 54-Xe-123 54-Xe-125 54-Xe-125M 54-Xe-127 54-Xe-127M 54-Xe-129M 54-Xe-131M 54-Xe-132M 54-Xe-133 54-Xe-133M 54-Xe-135 54-Xe-135M 54-Xe-137 54-Xe-138	55-Cs-121 55-Cs-122 55-Cs-123 55-Cs-123M 55-Cs-125 55-Cs-126 55-Cs-127 55-Cs-128 55-Cs-129 55-Cs-130 55-Cs-132 55-Cs-134 55-Cs-134M 55-Cs-135M 55-Cs-136 55-Cs-137 55-Cs-138 55-Cs-139 55-Cs-140 55-Cs-141 55-Cs-142 55-Cs-145	56-Ba-124 56-Ba-126 56-Ba-127 56-Ba-128 56-Ba-129 56-Ba-129M 56-Ba-131 56-Ba-131M 56-Ba-133 56-Ba-133M 56-Ba-135M 56-Ba-136M 56-Ba-137M 56-Ba-139 56-Ba-140 56-Ba-141 56-Ba-142 56-Ba-147	57-La-129 57-La-130 57-La-131 57-La-132 57-La-133 57-La-134 57-La-135 57-La-136 57-La-138 57-La-140 57-La-141 57-La-142 57-La-143 57-La-144 57-La-145 57-La-146 57-La-147 57-La-148	58-Ce-130 58-Ce-132 58-Ce-133 58-Ce-134 58-Ce-135 58-Ce-135M 58-Ce-137 58-Ce-137M 58-Ce-139 58-Ce-139M 58-Ce-141 58-Ce-143 58-Ce-144 58-Ce-145 58-Ce-147
59-Pr-128 59-Pr-134 59-Pr-136 59-Pr-137	60-Nd-132 60-Nd-134 60-Nd-136 60-Nd-139	61-Pm-132 61-Pm-134 61-Pm-139 61-Pm-139M	62-Sm-134 62-Sm-136 62-Sm-139 62-Sm-141	63-Eu-136 63-Eu-140 63-Eu-141 63-Eu-142	64-Gd-141 64-Gd-142 64-Gd-143 64-Gd-143m	65-Tb-142 65-Tb-144 65-Tb-147 65-Tb-147M

59-Pr-138 59-Pr-138M 59-Pr-139 59-Pr-140 59-Pr-142 59-Pr-143 59-Pr-144 59-Pr-144M 59-Pr-146 59-Pr-148 59-Pr-148M 59-Pr-149 59-Pr-150 59-Pr-152	60-Nd-141 60-Nd-147 60-Nd-149 60-Nd-151	61-Pm-140 61-Pm-140M 61-Pm-141 61-Pm-142 61-Pm-143 61-Pm-144 61-Pm-145 61-Pm-146 61-Pm-147 61-Pm-148 61-Pm-148m 61-Pm-149 61-Pm-150 61-Pm-151 61-Pm-152 61-Pm-152M 61-Pm-152N 61-Pm-153 61-Pm-155	62-Sm-142 62-Sm-143 62-Sm-145 62-Sm-151 62-Sm-153 62-Sm-155 62-Sm-156 62-Sm-159	63-Eu-142M 63-Eu-143 63-Eu-144 63-Eu-145 63-Eu-146 63-Eu-147 63-Eu-148 63-Eu-149 63-Eu-150 63-Eu-150M 63-Eu-152 63-Eu-152M 63-Eu-152N 63-Eu-154 63-Eu-154M 63-Eu-155 63-Eu-156 63-Eu-157 63-Eu-158 63-Eu-159	64-Gd-145 64-Gd-146 64-Gd-149 64-Gd-151 64-Gd-153 64-Gd-159 64-Gd-161 64-Gd-162	65-Tb-148 65-Tb-149 65-Tb-149M 65-Tb-151 65-Tb-152 65-Tb-153 65-Tb-155 65-Tb-156 65-Tb-156M 65-Tb-156N 65-Tb-157 65-Tb-160 65-Tb-161 65-Tb-162 65-Tb-163 65-Tb-165
66-Dy-144 66-Dy-146 66-Dy-148 66-Dy-149 66-Dy-152 66-Dy-153 66-Dy-155 66-Dy-157 66-Dy-157M 66-Dy-159 66-Dy-165 66-Dy-167	67-Ho-148 67-Ho-148M 67-Ho-153 67-Ho-155 67-Ho-159 67-Ho-159M 67-Ho-160 67-Ho-160M 67-Ho-160N 67-Ho-161 67-Ho-161M 67-Ho-162 67-Ho-163M 67-Ho-164 67-Ho-164M 67-Ho-166 67-Ho-166M 67-Ho-167 67-Ho-168 67-Ho-170 67-Ho-170M	68-Er-151 68-Er-152 68-Er-153 68-Er-154 68-Er-156 68-Er-159 68-Er-163 68-Er-169 68-Er-171 68-Er-172 68-Er-173	69-Tm-151 69-Tm-151M 69-Tm-153 69-Tm-158 69-Tm-164 69-Tm-165 69-Tm-166 69-Tm-170 69-Tm-171 69-Tm-172 69-Tm-173 69-Tm-174	70-Yb-152 70-Yb-160 70-Yb-162 70-Yb-164 70-Yb-169 70-Yb-175 70-Yb-177 70-Yb-177M	71-Lu-171 71-Lu-171M 71-Lu-172 71-Lu-172M 71-Lu-173 71-Lu-174 71-Lu-174M 71-Lu-176 71-Lu-176M 71-Lu-177 71-Lu-177M 71-Lu-178 71-Lu-179 71-Lu-180 71-Lu-183	72-Hf-172 72-Hf-173 72-Hf-175 72-Hf-177M 72-Hf-177N 72-Hf-178M 72-Hf-178N 72-Hf-180M 72-Hf-181 72-Hf-182
73-Ta-164 73-Ta-170 73-Ta-172 73-Ta-173 73-Ta-174 73-Ta-176 73-Ta-177 73-Ta-178 73-Ta-180 73-Ta-180M 73-Ta-182 73-Ta-182M 73-Ta-182N 73-Ta-183 73-Ta-185	74-W -176 74-W -177 74-W -179 74-W -181 74-W -183M 74-W -185 74-W -185M 74-W -187 74-W -188 74-W -190	75-Re-176 75-Re-180 75-Re-181 75-Re-182 75-Re-182M 75-Re-186 75-Re-188 75-Re-189 75-Re-190 75-Re-192	76-Os-171 76-Os-180 76-Os-182 76-Os-185 76-Os-190M 76-Os-191M 76-Os-193 76-Os-195 76-Os-196	77-Ir-187 77-Ir-189 77-Ir-190 77-Ir-190M 77-Ir-190N 77-Ir-191M 77-Ir-191N 77-Ir-192 77-Ir-192M 77-Ir-192N 77-Ir-194 77-Ir-194N 77-Ir-195 77-Ir-196 77-Ir-197 77-Ir-197M	78-Pt-187 78-Pt-188 78-Pt-189 78-Pt-191 78-Pt-193M 78-Pt-197 78-Pt-197M 78-Pt-199 78-Pt-199M 78-Pt-200	79-Au-183 79-Au-186 79-Au-190 79-Au-191 79-Au-192 79-Au-192M 79-Au-192N 79-Au-193 79-Au-194 79-Au-196 79-Au-197M 79-Au-198 79-Au-198M 79-Au-199 79-Au-200 79-Au-201 79-Au-202 79-Au-203

80-Hg-186	81-Tl-186M	82-Pb-194	83-Bi-202	84-Po-203	85-At-206	86-Rn-209
80-Hg-188	81-Tl-188	82-Pb-197	83-Bi-206	84-Po-205	85-At-210	86-Rn-210
80-Hg-190	81-Tl-193	82-Pb-198	83-Bi-207	84-Po-207	85-At-211	86-Rn-217
80-Hg-192	81-Tl-193M	82-Pb-199	83-Bi-208	84-Po-207M	85-At-212M	86-Rn-218
80-Hg-195	81-Tl-196	82-Pb-200	83-Bi-208M	84-Po-208	85-At-215	86-Rn-219
80-Hg-197	81-Tl-197	82-Pb-201	83-Bi-210	84-Po-209	85-At-217	86-Rn-220
80-Hg-197M	81-Tl-197M	82-Pb-201M	83-Bi-210M	84-Po-210	85-At-218	86-Rn-221
80-Hg-199M	81-Tl-198	82-Pb-202M	83-Bi-211	84-Po-211	85-At-220	86-Rn-222
80-Hg-203	81-Tl-198M	82-Pb-203	83-Bi-212	84-Po-211M		86-Rn-223
80-Hg-205	81-Tl-199	82-Pb-203M	83-Bi-212M	84-Po-212M		
80-Hg-206	81-Tl-199M	82-Pb-203N	83-Bi-213	84-Po-213		
	81-Tl-200	82-Pb-204M	83-Bi-214	84-Po-214		
	81-Tl-201	82-Pb-210		84-Po-215		
	81-Tl-202	82-Pb-211		84-Po-216		
	81-Tl-206	82-Pb-212		84-Po-218		
	81-Tl-206M	82-Pb-214				
	81-Tl-207					
	81-Tl-207M					
	81-Tl-208					
	81-Tl-209					
	81-Tl-210					
87-Fr-219	88-Ra-213M	89-Ac-220	90-Th-223	91-Pa-228	92-U -227	93-Np-232
87-Fr-220	88-Ra-219	89-Ac-224	90-Th-224	91-Pa-229	92-U -230	93-Np-233
87-Fr-221	88-Ra-220	89-Ac-225	90-Th-226	91-Pa-231	92-U -232	93-Np-234
87-Fr-222	88-Ra-222	89-Ac-227	90-Th-227	91-Pa-232	92-U -233	93-Np-235
87-Fr-223	88-Ra-223	89-Ac-228	90-Th-228	91-Pa-233	92-U -234	93-Np-236
87-Fr-224	88-Ra-224	89-Ac-230	90-Th-229	91-Pa-234	92-U -235	93-Np-236M
87-Fr-226	88-Ra-225	89-Ac-231	90-Th-230	91-Pa-234M	92-U -235M	93-Np-237
87-Fr-227	88-Ra-226	89-Ac-232	90-Th-231	91-Pa-235	92-U -236	93-Np-238
87-Fr-228	88-Ra-228	89-Ac-233	90-Th-232	91-Pa-236	92-U -237	93-Np-239
87-Fr-231			90-Th-233	91-Pa-237	92-U -238	93-Np-240
			90-Th-234		92-U -239	93-Np-240M
					92-U -240	93-Np-241
					92-U -242	93-Np-242
94-Pu-236	95-Am-238	96-Cm-241	97-Bk-245	98-Cf-246	99-Es-249	100-Fm-252
94-Pu-237	95-Am-240	96-Cm-242	97-Bk-247	98-Cf-248	99-Es-250M	100-Fm-254
94-Pu-238	95-Am-241	96-Cm-243	97-Bk-248M	98-Cf-249	99-Es-253	100-Fm-255
94-Pu-239	95-Am-242	96-Cm-244	97-Bk-249	98-Cf-250	99-Es-254	100-Fm-257
94-Pu-240	95-Am-242M	96-Cm-245	97-Bk-250	98-Cf-251		
94-Pu-241	95-Am-243	96-Cm-246		98-Cf-252		
94-Pu-242	95-Am-244	96-Cm-247		98-Cf-253		
94-Pu-243	95-Am-244M	96-Cm-248				
94-Pu-244	95-Am-245	96-Cm-249				
94-Pu-245	95-Am-246	96-Cm-251				
94-Pu-246	95-Am-246M					
	95-Am-247					