ÚJV 7762-R

А. Голубарж

ВЫЧИСЛЕНИЕ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГРУППОВЫХ СЕЧЕНИЙ ДЛЯ ГАДОЛИНИЯ И ЕГО ИЗОТОПОВ

ОТЧЕТ

Ржеж, август 1986 г.

NUCLEAR RESEARCH INSTITUTE

ŘEŽ – CZECHOSLOVAKIA

INFORMATION CENTRE

ÚJV 7762 - R

А. Голубарж

ВЫЧИСЛЕНИЕ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГРУППОВЫХ СЕЧЕНИЙ ДЛЯ ГАДОЛИНИЯ И ЕГО ИЗОТОПОВ

DC: 546.662:539.17

Вычисление и предварительный анализ групповых сечений для гадолиния и его изотопов

Аннотация

На основе данных из библиотек ENDL-78 и ENDF/B-IV программой FEDGROUP-3 были вычислены групповые константы типа БНАБ и THSIG для отдельных изотопов и для естественной смеси гадолиния. Сделано сравнение разных наборов групповых констант типа БНАБ для естественной смеси гадолиния (разные библиотеки оцененных ядерных данных, разные вычислительные программы) и объяснены важнейшие отклонения. Выполнено тоже сравнение сечения захвата для отдельных изотопов с опубликованными данными. В заключении рекомендованы подходящие наборы данных для применения к расчетам элементарных топливных ячеек содержащих гадолиний. Приводятся графические изображения зависимостей важнейших сечений от энергии нейтронов.

Calculation and preliminary analysis of group cross-sections for gadolinium and its isotopes

Abstract

Evaluated nuclear data files ENDL 78 and ENDF/B-IV and the cross-section generation code FEDGROUP-R were used to produce averaged group cross-sections for the group system BNAB and THSIG for gadolinium and its individual isotopes. Different sets of group cross-sections for gadolinium (due to different evaluated data files or different processing codes) were compared and significant differences analyzed. Comparison of group capture cross-sections for individual isotopes of gadolinium with published data was carried out. Group cross-sections data sets prepared are analyzed from the point o view to what extent can they meet the requirements of the cell calculations for the gadolinium-loaded fuel. Some group cross-section tables and cross-section plots are presented.

ÚJV 7762 R

© Nuclear Research Institute - Řež near Prague - Czechoslovakia

Содержание

стр.

1. Введение 5

2. Свойства гадолиния, важные для нейтронно-физического расчета 5

3. Доступная информация о сечениях гадолиния 7

4. Расчет групповых констант 8

5. Сравнение разных наборов групповых сечений 9

5.1. Сравнение групповых сечений радиационного захвата для естественной смеси гадолиния 10

5.2. Сравнение групповых сечений упругого рассеяния для естественной смеси гадолиния 11

5.3. Сравнение групповых констант для отдельных изотопов гадолиния 12

6. Заключение 14

6.1. Групповая система 15

6.2. Источник использованных информаций о сечениях 15

6.3. Учет резонансной самоэкранировки сечений 15

Литература 17

Таблицы групповых констант

Графические представления сечений

1. ВВЕДЕНИЕ

Исследование применения гадолиния в качестве выгорающего поглотителя расплавленного в топливе ядерного реактора необходимо обеспечить нейтронно-физическими расчетами влияния гадолиния на нейтронный баланс в элементарной топливной ячейке в начальном состоянии и тоже в течение выгорания. Расчеты нейтронного баланса в элементарной ячейке в нашем институте проводятся программой MICROBE /1/. Библиотека многогрупповых сечений применяемая программой MICROBE формально состоит из групповой системы типа БНАБ /2/ в надтепловой области и 43-групповой системы THSIG /3/ в области термализации. Что касается содержании, в состав библиотеки могут входить следующие наборы констант.

Библиотека THSIG содержит групповые сечения вычисленные на основе нескольких библиотек ядерных данных (смотри /3/), но для материалов начального состояния активной зоны в большинстве использованы данные из SNDL-2 /4/.

В надтепловой области (групповая система БНАБ) есть в распоряжении библиотека БНАБ 64 /2/ (с уважением некоторых дополняющих изменений в начале 70-ых годов), и библиотеки /8,9,10/ подготовленные программой FEDGROUP /5,6,7/ на основе библиотек оцененных ядерных данных KEDAK-3 /11/, ENDL-78 /12/ и ENDF/B-IV /13/. В настоящее время программой FEDGROUP-R вычислены константы для библиотеки THSIG на основе данных из ENDF/B-IV , которые вместе с /10/ создают полную библиотеку групповых сечений (во всей области энергий) основанную на ENDF/B-IV.

Оригинальная библиотека THSIG содержит данные для Gd 155 и Gd 157 на основе SNDL-2 и данные для изотопов с Gd 155 до Gd 160 на основе /14/, но в надтепловой области групповые константы для гадолиния и его отдельных изотопов до сих пор отсутствовали. Поэтому, в связи с современными тенденциями использования гадолиния /15/, для расчетов элементарных топливных ячеек содержащих гадолиний в топливе были программой FEDGROUP-R /7/ подготовлены 26-групповые константы типа БНАБ для природной смеси гадолиния (один набор констант на основе ENDL-78 , второй на основе ENDF/B-IV) и для отдельных изотопов гадолиния (на основе ENDF/B-IV).Константы входят в состав библиотеки /10/, вычислены тоже соответствующие константы для системы THSIG.

В этом отчете сначала коротко упомянуты некоторые свойства гадолиния имеющие влияние на требования, которым должны удовлетворить как способ расчета элементарной ячейки, так и описание сечений гадолиния. Перечислены наборы оцененных данных для гадолиния, которые в настоящее время в нашем распоряжении, на основе этих данных программой FEDGROUP-R подготовленные наборы групповых констант и проводятся сравнения разных наборов 26-групповых констант для природной смеси гадолиния. В дополнение приводятся таблицы 26-групповых констант для изотопов и естественной смеси гадолиния и рисунки зависимостей некоторых сечений от энергии.

2. СВОЙСТВА ГАДОЛИНИЯ, ВАЖНЫЕ ДЛЯ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКОГО РАСЧЕТА

Естественная смесь гадолиния состоит из семи изотопов. Содержание этих изотопов в естественной смеси, их сечения радиационного захвата при энергии нейтронов 0.0253 эВ и резонансные интегралы приводятся в таблице 1. Данные переписаны из /18/, где как оригинальные источники информации приводятся /20/ (содержание изотопов) и /19/ (сечения при энергии 0.0253 эВ). Резонансные интегралы взяты из текстовой информации в начале отдельных наборов данных в ENDF/B-IV.

Таблица 1

Материал	Содержание в естественной смеси /%/	$\sigma(n,\gamma)$ для E=0.0253 эВ /барн/	Резонансный интеграл /барн/
Gd 152	0.20	1100(14.4/16/)	
154	2.18	85	248.170
155	14.80	61000	1542.000
156	20.47	1.5	129.570
157	15.65	254000	973.000
158	24.84	2.5	63.092
160	21.86	0.77	8.562
Gd	-	49000	

Содержание в естественном элементе изотопа **Gd 152** настолько низко, что в нейтронно-физических расчетах его не учитывают. Взаимодействием с нейтронным потоком вследствие радиационного захвата, содержание изотопов будет меняться. Из сравнения сечений в таблице 1 видно, что наиболее быстрым изменением будет уменьшение концентраций изотопов **Gd 155** и **Gd 157** и возраст концентраций **Gd 158** и **Gd 156**. После некоторого времени облучения, достаточного для выгорания большинства исходного количества **Gd 155** и **Gd 157**, достигается приблизительно равновесного состояния, когда концентрации этих двух изотопов остаются почти постоянные вследствие продукции из итотопов **Gd 154** и **Gd 156** /16/. Из-за возраста концентрации изотопа **Gd 158** некоторые методики расчета /17/ учитывают тоже присутствие изотопа **Gd 159**, но сечения этого изотопа в библиотеках не приводятся.

Но эти изменения изотопного состава не происходят во всем объеме топливного элемента одновременно. В результате больших сечений нечетных изотопов внутренняя часть топливного элемента экранирована и поглощение происходит в поверхностном слое. Только когда в этом слое концентрации изотопов **Gd 155** и **Gd 157** значительно уменьшаются, происходит основная часть поглощения нейтронов в области ближе оси элемента. Этот способ выгорания гадолиния по слоям (**"onion-skin" fashion** /17/) приводит к повышенным требованиям к вычислительным программам что касается числа радиальных областей топливного элемента, в которых надо отдельно учитывать изменения изотопного состава (именно гадолиния). Уменьшение эффекта самоэкранирования топливных элементов в результате выгорания гадолиния и соответствующий возраст теплового потока нейтронов внутри элементов одновременно приводит к ограничениям интервалов времени при расчете выгорания по сравнению с расчетами выгорания элементарных ячеек без гадолиния /17/.

Для представления сечений гадолиния в форме многогрупповых констант особенно важно, что у изотопов **Gd 155** и **Gd 157** большие резонансы в тепловой области, в результате которых появляется значительный эффект самоэкранирования и значительным является тоже эффект взаимного экранирования резонансов изотопов **Gd 155** и **Gd 157** /17/. Поэтому групповая система надо быть достаточно тонкая, чтобы групповые константы достаточно точно описывали большие резонансы, или, в случае более грубой системы, целесообразно чтобы дополнительная информация о резонансной области (в нашем случае коэффициенты резонансной самоэкранировки), хорошо учитывала взаимное самоэкранирование резонансов **Gd 155** и **Gd 157**.

3. ДОСТУПНАЯ ИНФОРМАЦИЯ О СЕЧЕНИЯХ ГАДОЛИНИЯ

Учитывая библиотеки оцененных ядерных данных, которые в настоящее время в распоряжении нашего института, данные для гадолиния находятся только в **ENDL-78** (естественная смесь Gd, обозначение материала MAT=7853) и **ENDF/B-IV**:

ENDF/B-IV General Purpose File
(в следующем будем обозначаться **E4GP**)
Gd (естественная смесь) MAT=1030

ENDF/B-IV Fission Products
(в следующем **E4FP**)

Gd 154	MAT=791
Gd 155	792
Gd 156	793
Gd 157	794
Gd 158	795
Gd 160	797

В комментариях сопровождающих данные для каждого материала в **ENDF/B-IV** можно прочитать что наборы данных для отдельных изотопов гадолиния (в **E4FP**) были сделаны другими специалистами и на основе других источников информации чем набор данных для естественной смеси (в **E4GP**). Оценка данных для естественной смеси сделана в 1966 г., оценка данных для отдельных изотопов в 1974 г. (резонансные параметры из **BNL-325** (1973 г.) /19/.

В нашем распоряжении тоже библиотека **ENDF/B-V - Fission Products**, но для изотопов гадолиния там приводятся только некоторые данные, и что касается сечений, они входят в библиотеку **ENDF/B-V General Purpose File**, но этой библиотеки пока нет в МАГАТЭ.

В нашем институте тоже библиотека SNDL-2 /4/, где приводятся сечения для **Gd 155** и **Gd 157** в области с 0.001 до 5.0 эв. Как написано в /4/, основной информацией для подготовки **SNDL-1** были данные из /19/ и учтением некоторых более современных информаций, именно для делящихся материалов, возникла библиотека **SNDL-2**. Из этого следует, что данные для **Gd 155** и **Gd 157** в основном будут совпадать с константами подготовленными на основе **E4FP**.

В виде групповых сечений можно получить данные для естественной смеси гадолиния из ЯНАВ 78 (по комментарию в /21/ константы были вычислены на основе **ENDL-78**).

Новейшим источником данных о сечениях материалов является книга /30/, заменяющая собой третье издание **BNL-325** с 1973 года /19/. Интересно посмотреть данные для гадолиния приведенные в этой книге и сравнить их с до сих пор нам доступными данными из **ENDF/B-IV**. На основе такого сравнения можно грубо оценить какие изменения в данных для гадолиния можно ожидать в связи с появлением и использованием более современных версий библиотеки **ENDF/B**.

Основные характеристики гадолиния (по данным из /30/) показаны в таблице 16. Сравнением с таблицей 1 видно, что существенных изменений нет, интересно только заметить заниженные значения резонансных интегралов для **Gd 155** и **Gd 157**

Что касается резонансных параметров, число разрешенных резонансов описанных в /30/ всегда больше чем в **ENDF/B-IV**, для некоторых материалов даже в три раза. Но одновременно необходимо подчеркнуть, что, во первых, параметры резонансов приведенных уже в **ENDF/B-IV** практически не изменяются и новые резонансы появляются только из-за повышения верхней границы области разрешенных резонансов, и во вторых, в большинстве случаев для заново дополненных резонансов не приводится оценка ширины для реакции (n,γ), или только в скобках поставлена предварительная оценка.

На основе этого можно предполагать, что в **ENDF/B-V** существенных изменений в данных о сечениях изотопов гадолиния не будет.

Таблица 16

Материал	Содержание в естественной смеси /%/	$\sigma(m,T)$ /барн/ T при E=0.0253 эВ M в спектре Максвелла P в реакторном спектре		коэффициент Бесткота	I_T /барн/ резонансный интеграл c... рассчитанный на основе резонансных параметров
Gd		48890±104	T	0.8467	390±10
Gd 152	0.20	735±20	M		2020±160
153		36000±4000	P		
154	2.1	85±12	T	0.9967	335±50; 230±25 c
155	14.8	60900±500	T	0.8425	1447±100 c
156	20.6	1.5±1.2	M	1.0006	104±15
157	15.7	254000±815	T	0.8509	700±20 c
158	24.8	2.2±0.2	T	1.0009	73±7
160	21.8	0.77±0.02	M	0.9997	7.2±1.0 c
161		31000 ±12000	P		

4. РАСЧЕТ ГРУППОВЫХ КОНСТАНТ

Для подготовки групповых констант были использованы наборы данных из библиотек **ENDL-78** и **ENDF/B-IV**. В **ENDL-78** не приводятся резонансные параметры, зависимость сечения от энергии нейтрона описана таблицей точечных значений и правилами интерполяции. В **ENDF/B** для каждого материала может быть определена область энергий (резонансная область), где сечение описано параметрами резонансов и поточечно определенной поправкой. Значение сечения в любой точке из этой области получается сложением соответствующих вкладов от всех резонансов и добавлением поправки в этой точке. Резонансные области для гадолиния и его отдельных изотопов приводятся в таблице 2.

Таблица 2 Границы резонансных областей

Материал	Файл **ENDF/B-IV**	Обозначение материала MAT=	Нижняя граница /эВ/	Верхняя граница /эВ/
Gd	General Purpose	1030	0.00001	50.0
Gd 154	Fission Products	791	- " -	275.96
155	- " -	792	- " -	69.883
156	- " -	793	- " -	1452.3
157	- " -	794	- " -	309.17
158	- " -	795	- " -	6037.6
160	- " -	797	- " -	2883.7

Расчеты групповых констант были сделаны программой FEDGROUP-R /7/ (для расчета констант типа БНАБ использован такой же стандартный спектр как и в /4/,/21/). Эта программа при обработке каждого материала подготовливает файл данных (в определенном формате), в который входят тоже поточечные представления сечений во всей области энергий (в случае материала из ENDF/B этому предшествует расчет сечений на основе резонансных параметров). Эти данные потом могут быть использованы для расчета констант в любой системе групповых границ (например для системы THSIG) или например для графического изображения зависимостей сечений.

Для отдельных изотопов гадолиния с Gd 154 до Gd 158 и Gd 160 были вычислены 26 групповые константы типа БНАБ (и 43 групповые THSIG) на основе ENDF/B-IV Fission Products (E4FP). Соответствующие наборы констант имеют обозначения с IN =132 до IN =137 в /10/.

Для естественной смеси гадолиния были сделаны следующие расчеты 26-групповых констант типа БНАБ:

1) на основе ENDL-78, MAT=7853, обозначение IN =104 в /10/
2) на основе ENDF/B-IV General Purpose File (E4GP), MAT=1030, обозначение IN =102 в /10/
3) расчет программами LINEAR-RECENT-GROUPIE /24/ (в следующем L-R-G) на основе E4GP, MAT=1030. (На основе международного проекта МАГАТЭ по сравнению и проверке программ для подготовки групповых констант на основе ENDF/B-IV,V /26/ система L-R-G является одной из программ, результаты которых можно считать стандартными. Поэтому в нашем институте иногда используются для проверки подготовленных констант и в том числе соответствующего блока программы FEDGROUP-R)
4) расчет программой SUPERTOG /25/ на основе E4GP , MAT=1030
5) программой LIBCOM /23/ на основе групповых констант для отдельных изотопов (IN = 132,...,137 в /10/) подготовлены константы для естественной смеси, обозначение IN = 144 в /10/ (в таблицах E4MIX)
6) таким же образом как в 5), но с учтением только изотопов Gd 155 и Gd 157, обозначение IN =145 в /10/ (в таблицах E4MIX5,7).

В наборах констант описанных в 5) и 6) отсутствуют коэффициенты самоэкранировки, наборы подготовлены только для сравнения групповых сечений.

Наборы констант описанные в 3) и 4) сделаны тоже только для сравнения и проверки, нет программой связи для их включения в библиотеку /10/, подготовленную программой LIBCOM.

5. СРАВНЕНИЕ РАЗНЫХ НАБОРОВ ГРУППОВЫХ СЕЧЕНИЙ

Для объяснения связи между системами групповых границ БНАБ и THSIG в таблице 3 приводятся групповые границы системы THSIG .

Видно, что несколько нижнеэнергетических групп системы БНАБ лежит уже в области групповой системы THSIG. При использовании полной системы THSIG (43 групп) является последующей 22-ая группа системы БНАБ. В 16-ой группе системы БНАБ приводится значение сечения при энергии 0.0253 эВ, которая входит в 6-ую группу системы THSIG. Значит, сравнения выполненные для нижние группы системы БНАБ возможно использовать одновременно для качественного обсуждения констант в системе THSIG.

Таблица 3 Верхние границы групп системы THSIG

гр.	/эВ/	гр.	/эВ/	гр.	/эВ/	гр.	/эВ/
1	0.002	12	0.08	23	0.4048	34	1.067
2	0.005	13	0.095	24	0.465	35	1.087
3	0.01	14	0.11	25	0.625	36	1.12
4	0.015	15	0.14	26	0.75	37	1.15
5	0.021	16	0.18	27	0.85	38	1.25
6	0.027	17	0.22	28	0.91	39	1.4
7	0.034	18	0.25	29	0.95	40	1.55
8	0.042	19	0.28	30	0.975	41	1.72
9	0.05	20	0.30	31	1.0	42	1.855
10	0.058	21	0.32	32	1.025	43	2.15
11	0.067	22	0.35	33	1.045		

5.1. Сравнение групповых сечений радиационного захвата для естественной смеси гадолиния

Сравнение значений для некоторых групп системы БНАБ для всех подготовленных наборов групповых констант приводится в таблице 4.

Сначала интересно сравнить два набора констант основанных на ENDL-78 . Константы вычисленные программой FEDGROUP-R совпадают с константами из БНАБ 78 (отклонение меньше 0.4 %), но за исключением 26-ой группы. Значения сечений при энергии 0.0253 эВ существенно отклоняются, в БНАБ 78 оно на 18% ниже значения из ENDL-78 . Проведение этого изменения и его причина в /21/ не комментированы.

Таблица 4 Групповые сечения радиационного захвата для гадолиния /барн/

Группа БНАБ	БНАБ-78	ENDL-78 FEDGR.-R	ENDF/B-IV GP MAT=1030		ENDF/B-IV FP, FEDGR.-R	
			L-R-G	FEDGR.-R	E4MIX	E4MIX5,7
12	2.862	2.862	3.695	3.686	2.069	1.577
13	4.352	4.352	6.092	6.095	3.861	2.974
14	8.088	8.088	8.219	8.184	12.02	10.48
18	30.35	30.34	24.91	24.83	26.23	25.34
19	106.40	106.49	28.48	28.48	66.82	24.97
20	84.45	84.50	50.19	50.19	64.94	64.07
21	42.98	42.97	39.04	39.04	35.57	35.30
22	158.77	158.55	147.2	147.2	149.9	149.6
23	53.46	53.45	43.73	43.75	47.01	46.59
24	125.5	125.5	79.06	79.03	83.34	82.73
25	1109	1109	564.6	564.7	571.0	570.1
26	37 340	45 670	49 401	49 200	49 017	49 014

Константы подготовленные программами L-R-G и FEDGROUP-R на основе E4GP, MAT=1030 хорошо совпадают (результат L-R-G в 26-ой группе является среднегрупповой величиной в интервале⟨0.0250, 0.0256⟩эВ с весом 1/E), результаты программы SUPERTOG (в таблице не приводятся) практически тоже одинаковые.

На основе общего сравнения можно сказать:

а) Существенно отличается информация из ENDL 78 и ENDF/B-IV.

б) Данные из ENDF/B-IV GP относительно хорошо соответствуют данным из ENDF/B-IV FP, более существенное отклонение только в области групп 19,20 системы БНАБ.

в) За исключением 19-ой группы сечение радиационного захвата в естественной смеси гадолиния хорошо представлено сечением захвата только на ядрах изотопов Gd 155 и Gd 157. В 19-ой группе действуют большие сечения (одновременно с существенным содержанием в естественной смеси) изотопов Gd 156 и Gd 158.

5.2. Сравнение групповых сечений упругово рассеяния для естественной смеси гадолиния

При сравнениях разных наборов групповых констант основной интерес конечно был сосредоточен на сечение радиационного захвата. Сравнения сечений упругого рассеяния проводились более для убеждения в правильном ходе программы FEDGROUP-R. Однако в этих сравнениях встретились некоторые заметные отклонения, пояснение которых потребовало более подробного анализа. На основе анализа установлено с точки зрения формата нестандартное определение данных в ENDF/B-IV GP, MAT=1030 и некоторые особенности в обработке данных в разных программах.

Из сравнения групповых сечений упругого рассеяния вычисленных программами FEDGROUP-R (в следующем F.-R) и L-R-G для MAT=1030, E4GP (Таб. 5) видно, что в резонансной области значения заметно отклоняются и отклонение почти постоянно - результаты F.-R приблизительно на 5.45 барн выше результатов L-R-G. Поэтому сделан еще расчет программой SUPERTOG, результаты которой совпадают с L-R-G. Сравнение с групповыми константами E4MIX (результат комбинации групповых констант для отдельных изотопов, подготовленных на основе E4FP) не приводит к утверждении в ни одном из отличающихся результатов.

Таблица 5 Групповые сечения упругого рассеяния для гадолиний /барн/

Группа БНАБ	ENDF/B-IV GP MAT=1030			Разница (FEDGR.-R)-(L-R-G)	ENDF/B-IV FP, FEDGR.-R		ENDL-78
	FEDGR.-R	L-R-G	SUPERTOG		E4MIX	E4MIX5,7	FEDGR.-R
12	10.41	10.39	10.41	0.02	23.87	6.484	12.96
13	10.88	10.86	10.88	0.02	28.98	8.632	13.53
14	10.71	10.71	10.70	0	29.59	11.37	13.79
17	11.63	11.65	11.63	-0.02	32.15	16.59	14.90
18	10.81	10.32	10.40	0.49	11.94	9.349	10.88
19	11.18	5.718	5.703	5.462	11.03	3.134	28.69
20	15.88	10.41	10.39	5.470	10.25	8.172	21.52
21	8.399	2.930	2.928	5.469	3.95	1.652	11.16
22	10.05	4.586	4.572	5.464	7.124	4.789	13.95
23	8.139	2.673	2.668	5.446	4.112	1.763	14.76
24	10.59	5.138	5.110	5.452	6.470	4.115	12.0
25	18.60	13.16		5.44	15.20	12.84	12.0
26	173.0	(165.5)		(5.45+2.05)	207.1	204.8	12.0

Объяснение можно найти в способе описания резонансной области материала MAT=1030 в **E4GP**. В формате **ENDF/B**, в случае материала состоящего из нескольких изотопов, данные определяющие сечения в резонансной области представлены в виде последующих секций данных для отдельных изотопов. Секция данных для одного изотопа содержит значения спина и радиуса ядра изотопа, его содержание в составе материала и потом параметры резонансов. В случае материала MAT=1030 для резонансной области приводятся только две секции данных, для изотопов **Gd 155** и **Gd 157**. (Надо еще заметить, что поправка к сечению восстановленному на основе резонансов в случае MAT=1030 нулевая во всей резонансной области). Такое представление вероятно достаточно хорошо определяет поведение сечения захвата гадолиния (как было видно в предыдущем разделе). Однако на всякий случай является нарушением правил формата **ENDF/B**, так как в /27/ подчеркнуто, что необходимо всегда приводить секции данных для всех изотопов даже в случае, когда для некоторых изотопов вообще не приводятся параметры резонансов (причиной является определение спина, радиуса и содержания в смеси для всех изотопов входящих в состав материала).

На основе этого установления возможно было ожидать, что меньшие значения сечений вычисленных программами **L-R-G** (и **SUPERTOG**) возникали учтением потенционального рассеяния только на ядрах **Gd 155** и **Gd 157**(значит, отсутствует относительный вклад от ядер изотопов **Gd 154, 156 , 158** и **Gd 160**). Эта предпосылка выполнилась. Сечение потенционального рассеяния на гадолинию в этой энергетической области практически постоянно и имеет значение 7.862 барн (на основе радиуса ядра 0.791 $см^{-12}$ - значение из **ENDF/B-IV FP**, одинаковое для всех изотопов). Общему содержанию изотопов **Gd 155** и **Gd 157** 30.45% соответствует сечение 2.394 барн и разница 5.468 барн хорошо соответствует установленному отклонению результатов **F.-R** и **L-R-G**.

Значит, имеются групповые сечения упругого рассеяния

1) учитывающие только рассеяние на ядрах изотопов **Gd 155** и **Gd 157** (результаты **L-R-G** и **SUPERTOG**)
2) учитывающие потенциональное и резонансное рассеяние на ядрах изотопов **Gd 155** и **Gd 157** и только потенциональное рассеяние на ядрах остальных изотопов смеси (результаты **F.-R**).

Можно ожидать, что значения 1) будут меньше правильных значений. Что касается значений 2), оценка уже не так однозначная, так как общий вклад не учтенных резонансов изотопов **Gd 154 , 156 , 158 , 160** в сечение упругого рассеяния может оказаться или положительным или отрицательным в зависимости от энергии. На основе результатов обозначенных **E4MIX** можно предполагать, что правильные значения будут находиться между 1) и 2), но надо отметить, что в **E4MIX** входит более полная информация о резонансных параметрах даже для изотопов **Gd 155** и **Gd 157** , чем в 1) и 2). (В **ENDF/B-IV FP** приводится 38 резонансов для **Gd 155** и 56 резонансов для **Gd 157** , между тем как в **ENDF/B-IV GP** для материала MAT=1030 для оба изотопы вместе только 29 резонансов, иногда не полностью одинаковых с соответствующими резонансами в **E4FP**).

Если предполагается концентрация окиси гадолиния в топливе до пяти процентов (в начальном состоянии), возможно пренебречь упругим рассеянием на гадолинию, но только за исключением тепловой области, где макросечения упругого рассеяния на гадолинию и на остальных составляющих топлива будут приблизительно такого же порядка. Поэтому нельзя вообще пренебречь разницей в значениях сечения упругого рассеяния при энергии 0.0253 эв между **ENDL-78** (и на **ENDL-78** основанными значениями в БНАЕ 78) и **ENDF/B-IV**. Отклонение возникает вследствие того, что при подготовке данных для упругого рассеяния в **ENDL-78** не учитывался вклад самых низких (по энергии) резонансов изотопов **Gd 155** и **Gd 157**, которые приводятся в **ENDF/B-IV** (таб. 6) (между тем как при подготовке данных для радиационного захвата вклад этих резонансов учитывался).

Таблица 6 Параметры первых резонансов изотопов Gd 155 и Gd 157

	Gd 155	Gd 157
E_r /эВ/	0.0268	0.0314
ℓ	0	0
J	2	1.5
g	0.625	0.5
Г /эВ/	0.1081	0.10659
$Г_n$ /эВ/	0.000104	0.00059
$Г_\gamma$ /эВ/	0.108	0.106

Отклонение в σ_ℓ в 26-ой группе (таб. 5) между F.-R и L-R-G 2.05% (кроме уже объясненного отклонения 5.45) правдоподобно возникает вследствие того, что результат L-R-G представляет собой среднегрупповое значение в интервале ⟨0.0250, 0.0256⟩эВ с весом 1/E.

На основе сравнения можно сказать:

а) Существенно отличается информация из ENDL-78 и ENDF/B-IV.

б) Относительная точность совпадения групповых сечений упругого рассеяния основанных на E4GP и E4FP хуже чем в случае радиационного захвата.

в) Сравнение E4MIX и E4MIX5,7 показывает, что в тепловой области сечение упругого рассеяния для природной смеси с удовлетворительной точностью возможно представить сечением рассеяния только на ядрах изотопов Gd 155 и Gd 157. В надтепловой области относительный вклад остальных изотопов гадолиния становится большим, но общий вклад всего гадолиния в макросечение упругого рассеяния среды (топлива) в этой области уже не существенный.

5.3. Сравнение групповых констант для отдельных изотопов гадолиния

Сравнение констант хотя бы для изотопов Gd 155 и Gd 157 с результатами программ LINEAR-RECENT-GROUPIE невозможно было осуществить, так как программа LINEAR(версия 83-2 и тоже 85-1) не работает успешно в случае соответстующих наборов данных. Причиной может быть какая то ошибка формата, которую однако трудно было бы установить без подробного анализа входных процедур программы.

На основе сравнения результатов FEDGROUP-R с другими программами для естественной смеси гадолиния и на основе хороших результатов раньше сделанных сравнений для других материалов /28,29/ предполагаем, что константы подготовленные программой FEDGROUP-R соответствуют информации из ENDF/B-IV.

Только перед завершением работы над этим отчетом мы познакомились с работой /34/, в которой опубликованы 26-групповые сечения радиационного захвата осколков деления (в том числе Gd 154 , ..., Gd 158) подготовленные на основе ENDF/B-IV . Сравнение с нашими результатами показало существенное отклонение в 25-ой группе системы БНАБ. Для объяснения этого положения был выполнен ряд независящих от программы FEDGROUP-R тестовых расчетов. На основе этих расчетов мы еще больше уверены в правильности результатов программы FEDGROUP-R и по нашему мнению некоторые константы приведенные в /34/ требуют дополнительного анализа.

В таблице 7 приводятся результаты FEDGROUP-R и /34/ для 25-ой группы БНАБ и отклонение (в процентах) /34/ от FEDGROUP-R. Ясно, что отклонение для Gd 157 существенно,

но с точки зрения проверки программ представляют интерес тоже отклонения для Gd 156 и Gd 158. Для проверки были аналитически вычислены все интегралы в 25-ой группе и результаты приводятся в следующем столбце таблицы 7. Аналитическое интегрирование для сечения представленного резонансными параметрами выполнено с помощью формулы из /23/; Эта формула дает аналитическое выражение для интеграла

$$\int_a^b \sigma_x(E)\,\frac{dE}{E} \quad , \text{ где } \quad \sigma_x(E)$$

сечение захвата или деления определенное формулой Брейта -Вигнера для ℓ=0 (s -резонанс). Учитывался вклад всех резонансов приведенных в ENDF/B-IV. Все эти резонансы удовлетворяют условию ℓ=0 за исключением одного резонанса Gd 156 (E=33.23 эВ, ℓ=1), но можно убедиться в том, что вклад этого резонанса в сечение 25-ой группы не превышает 0.003 барн. Поточечно в ENDF/B-IV описанная поправка для изотопов гадолиния определена в log.log координатах и тогда интеграл $\int \sigma(E)\frac{dE}{E}$ можно вычислить опять аналитически. Значит, результаты аналитического интегрирования приведенные в таблице 7 можно считать точными, результаты FEDGROUP-R с ними хорошо совпадают. (В последнем столбце таблицы приводятся результаты FEDGROUP-R, когда учитывается вклад только 10 ближайших резонансов).

Таблица 7: Среднегрупповое значение радиационного захвата в 25-ой группе БНАБ (NRES максимальное число учитываемых резонансов; NRES= 1000 все резонансы учитываются)

Материал	FEDGROUP-R NRES=1000	/34/	/34/-FEDGR. / FEDGR. /процент/	Аналитически интегрировано	FEDGROUP-R NRES=10
Gd 154	24.33	23.5	-3		
155	749.3	721.	-4		
156	0.429	0.272	-40	0.425	0.403
157	2934.2	5850.	+100	2921.9	2933.0
158	0.723	0.487	-30	0.720	0.704

Результаты FEDGROUP-R и /34/ относительно хорошо совпадают в группах 1-24 и в группе 26-ой. По информациям из /35/ где более подробно описана подготовка библиотеки /34/, проводились сравнения сечений в тепловой точке (26-ая группа) и резонансных интегралов с данными комментариев ENDF/B-IV. Но так как нижний предел резонансного интеграла принимается 0.5 эВ, ясно, что данные в 25-ой группе в эти сравнения никаким образом не входили. По нашему мнению целесообразно проверить правильность работы программ использованных в /34/ с учетом установленных отклонений.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предварительную оценку подготовленных констант надо провести из разных точек зрения и поэтому результирующая рекомендация на этом уровне (значит перед широким применением констант к расчетам и анализом их результатов) может оказаться не однозначной.

6.1 Групповая система

Из таблицы 3 видно, что связь систем THSIG и БНАБ возможно сделать в разных точках энергии. Если предположим связь при энергии 2.15 эВ, значит использование целой системы THSIG и 22 группы БНАБ, потом на основе рисунков можно сделать вывод, что подтовленные константы хорошо представляют ход сечений в области самых низких по энергии резонансов Gd 155 и Gd 157 (таб. 6), так как эта область входит в тонкую групповую систему THSIG. Однако уже следующие резонансы находятся в области относительно широких групп БНАБ, информация о детальном ходе сечений теряется, резонансная структура учитывается посредством коэффициентов самоэкранировки.

В случае потребности в более подробном представлении сечений в резонансной области, возможно использовать точечное описание сечений вычисленное программой FEDGROUP-R, или непосредственно или для подготовки групповых констант в более тонкой системе границ. Однако для последующей обработки таких данных и их использование в расчетах надо было бы дополнить программные средства.

6.2 Источник использованных информаций о сечениях

Было показано, что на уровне основных библиотек оцененных ядерных данных существуют два заметно отличающиеся источника, а именно ENDL-78 и ENDF/B-IV. Комментарий к оценке данных для гадолиния в ENDL 78 нет в нашем распоряжении, но имея в виду, что ENDF/B-IV дает более подробную информацию о сечениях (параметры разрешенных резонансов) и на основе проведенных сравнений, мы считаем правильной информацию из ENDF/B-IV.

Как уже было отмечено, наиболее современными из использованных данных являются данные для отдельных изотопов гадолиния в E4FP и представляют собой более полную и подробную информацию в сравнении с данными для естественной смеси гадолиния в E4GP (MAT=1030). Поэтому на первом месте рекомендуется использование групповых констант для отдельных изотопов (что на всякий случай необходимо при расчетах выгорания) по крайней мере в более точных расчетах начального состояния топлива. В докладе /17/ констатируются хорошие результаты расчетов с использованием данных E4FP (но в другой, правдоподобно более тонкой групповой системе). В пробных расчетах начального состояния несомненно достаточно будет использовать константы для естественной смеси на основе E4GP, MAT= 1030.

Новые информации могут появиться на основе данных из JENDL-2 /31/ и особенно интересно будет сравнение данных в ENDL-84 /32/ с предшествующей версией ENDL-78. Библиотеки JENDL-2 и ENDL-78 уже с прошлого года доступны посредством БАГАТЭ, но они пока нет в распоряжении нашего института.

6.3 Учет резонансной самоэкранировки сечений

Одной из основных предпосылок использованных при выводе метода подготовки макроскопических сечений среды на основе библиотеки констант типа БНАБ с коэффициентами самоэкранировки является предпосылка независящего от энергии в пределах группы сечения разбавления данного изотопа (при подготовке самоэкранированных микроскопических сечений данного изотопа предполагается макроскопическое сечение всех остальных изотопов среды постоянно в пределах группы). Эта предпосылка особенно важно нарушается, если некоторые сильные резонансы разных изотопов среды находятся в той же энергетической группе или даже перекрываются. Из рисунков видно, что такая ситуация выполняется в случае Gd 155 и Gd 157. Из этой точки зрения набор групповых констант для естественной смеси гадолиния (основанный на E4GP, MAT=1030) лучше учитывает эффекты в резонансной области,

так как при вычислении коэффициентов резонансной самоэкранировки резонансы изотопов Gd 155 и Gd 157 учитывались совместно (как будто резонансы одного материала) и поэтому использование этих констант в отличие от констант для отдельных изотопов) несколько лучше удовлетворяет выше упомянутой предпосылке.

В качестве примера можно привести сравнение макроскопических сечений среды созданной из UO_2 (с 3% обогащением U 235) и 5% Gd_2O_3. Хотя микроскопические сечения захвата в бесконечном разбавлении в 22-ой группе для естественной смеси гадолиния и для комбинации отдельных изотопов (E4MIX в таб. 4) отличаются только на 2%, макроскопическое сечение захвата данной среды в 22-ой группе при использовании констант для отдельных изотопов на 7% выше чем при использовании констант для естественной смеси (0.150 и 0.140 $см^{-1}$ соответственно).

Если захват в резонансной области гадолиния заметно будет влиять на интересующие нас результаты расчетов, тогда более целесообразно использовать константы подготовленные для природной смеси гадолиния, что конечно не возможно сделать при расчетах выгорания. Вообще возможно было бы на основе данных для отдельных изотопов в E4FP подготовить совместный файл данных и потом рассчитывать многогрупповые микроконстанты для смеси с разными относительными весами отдельных изотопов (или по крайней мере разным отношением Gd 155 и Gd 157). Но как видно из таблицы 2, резонансные области отдельных изотопов не одинаковые, что практически исключает выполнение такой задачи программой FEDGROUP-R в настоящем состоянии.

ЛИТЕРАТУРА

/1/ Залески К.: Руководство по программе MICROBE-02 для расчета локального выгорания, ÚJV 6880-R,A, 1984, на чеш. языке

/2/ Абагян Л.П. и др.: Групповые константы для расчета ядерных реакторов, Атомиздат, Москва 1964

/3/ Лемаин М.: Руководство по программе THESEUS-80 , Ae 5034/Dok.,Шкода Пльзень, 1981, на чеш. яз.

/4/ Абагян Л.П , Бдкевич М.С.: Библиотека нейтронных данных для расчета тепловых реакторов, отчет 7-ого симпозиума ВМК, Добржиховице, 1978

/5/ Vertes P.: FEDGROUP - A Program System ..., INDC (HUN)-13, INDC (HUN)-15/L, IAEA NDS 1976

/6/ Vertes P.: FEDGROUP-3 - A Program System ..., KFKI-1981-34, KFKI-1983-108

/7/ Голубарх А.: FEDGROUP-R - версия программы в ИЯИ Ржеж, ÚJV 7349-R, 1985

/8/ Голубарх А., Рочек Й.: Библиотека групповых данных типа БНАБ ...,ÚJV 5438-R, 1980

/9/ Голубарх А.: Библиотека групповых констант типа БНАБ для актинидов, в сборнике конференции Шкода Пльзень, 1984, на чеш. яз.

/10/ Голубарх А.: Библиотека 26-групповых сечений подготовленных на основе файла ENDF/B-IV, ÚJV 7461-R, 1985

/11/ Gool B., Krieg B.: Status of the Nuclear Data Library KEDAK-3 October 1975, KFK 2.

/12/ Howerton R.J.: The LLL Evaluated Nuclear Data Library, UCRL-50400 Series, též IAEA-NDS-11, Rev. 1

/13/ Garber D. et. al.: Data Formats and Procedures ..., BNL-NCS-50496 (ENDF-102),197

/14/ Bertram W.K. et al.: A Fission Product Group Cross Section Library, AAEC/E214,1971

/15/ Сохор К.: Использование гадолиния в качестве выгорающего поглотителя в топливе ядерных реакторов с водяным охлаждением под давлением, ÚJV 7210-R,T, 1985, на чеш. яз.

/16/ Wittkopf W.A., Kortheuer J.D.: Gadolinia Fuel Neutronics Model ..., Trans, Am. Nucl. Soc., Vol. 41, p. 592 (1982)

/17/ Crump M.W. et al.: Modeling Features in the Analysis of Gadolinia-Bearing Fuel, Trans. Am. Nucl. Soc., Vol. 41, p. 593, (1982)

/18/ Seelman-Eggebert W. et al.: Nuklidkarte, KFK, 1981

/19/ Mughabghab S.F.; Garber D.I.: Neutron Cross Sections, BNL-325, 3rd edition, 1973

/20/ Holden N.E.: Pure and Applied Chemistry 52, 2349 (1980)

/21/ Абагян Л.П. и др.: Групповые константы для расчета реакторов и защиты, Москва, Энергоиздат, 1981

/22/ Базазян Н.О. и др.: АРАМАКО-2F- система обеспечения константами ..., ИПМ, Москва, 1976

/23/ Голубарж А.: Программа LIBCOM ..., ÚJV 5715-R, 1981, на чеш. яз.

/24/ Cullen D.E.: Program LINEAR, RECENT, GROUPIE, UCRL-50400, Vol. 17, Part A,C,D (197)

/25/ JAERI-M-6935

/26/ Cullen D.E. et al.: The IAEA Cross Section Processing Code Verification Project ..., INDC/P (83)-40, 1983

/27/ Kinsey R.: Data Formats and Procedures for the ENDF, BNL-NCS-50496 (ENDF-102), 2nd edition, 1979

/28/ Голубарж А.: 26-групповые константы типа БНАБ для родия Rh 103, ÚJV 7344-F,R, 1985

/29/ Голубарж А.: Подготовка групповых сечений для расчета быстрых реакторов в ИЯИ Ржеж, ÚJV 7342-R, 1985

/30/ Mughabghab S.F. et al.: Neutron Cross Sections, Vol. 1 Neutron Resonance Parameters and Thermal Cross Sections, Academic Press, 1981

/31/ JAERI-M-84-103

/32/ IAEA-NDS-11, Rev. 4

/33/ Рочек Й.: Замечание по интегрированию нейтронных сечений в резонансной области, отчет 13-ого симпозиума ВМК, РСР, 1984

/34/ Гусев А.В., Писарев П.В. и др.: Библиотека групповых нейтронных сечений радиационного захвата осколков деления, Вопросы атомной науки и техники, серия ядерных констант, вып. 6 (44), 1981)

/35/ Гусев А.В., Писарев П.В. и др.: Получение 26-групповой библиотеки сечений осколков деления по данным библиотекам ENDF/B-IV , Вопросы атомной науки и техники, серия физика и техника ядерных реакторов, вып. 4 (33), 1983

ТАБЛИЦЫ ГРУППОВЫХ КОНСТАНТ

Для отдельных изотопов и для естественной смеси гадолиния были вычислены полные наборы констант типа БНАВ включая коэффициенты самоэкранировки и тоже 43 групповые константы в тепловой области для системы **THSIG**. Все эти константы хранятся в составе библиотек на лентах и можно сделать их полную распечатку. Здесь мы считаем целесообразным привести только часть такой распечатки, основные константы в системе БНАВ. Определение величин ясно из комментариев распечатки.

ID. NUMBER= 102 COMMENT: GD E4

GROUP	TOTAL	CAPTURE	ELASTIC	FISSION	INELASTIC
1	5.0060E 00	4.1410E-03	2.4734E 00	0.0	2.5285E 00
2	5.4765E 00	1.1550E-02	2.8251E 00	0.0	2.6397E 00
3	6.2125E 00	3.1074E-02	3.5087E 00	0.0	2.4722E 00
4	6.8541E 00	8.3526E-02	4.0149E 00	0.0	2.7557E 00
5	7.2135E 00	1.1306E-01	4.2674E 00	0.0	2.7330E 00
6	7.2973E 00	1.0480E-01	5.0543E 00	0.0	2.1382E 00
7	7.6160E 00	1.6897E-01	6.2449E 00	0.0	1.2027E 00
8	8.2342E 00	3.6464E-01	7.3324E 00	0.0	5.3717E-01
9	9.1597E 00	6.5457E-01	8.4155E 00	0.0	8.9641E-02
10	1.0368E 01	1.1264E 00	9.2417E 00	0.0	0.0
11	1.1597E 01	1.7105E 00	9.8863E 00	0.0	0.0
12	1.4091E 01	3.6857E 00	1.0405E 01	0.0	0.0
13	1.6977E 01	6.0949E 00	1.0882E 01	0.0	0.0
14	1.8890E 01	8.1864E 00	1.0705E 01	0.0	0.0
15	2.6058E 01	1.4292E 01	1.1766E 01	0.0	0.0
16	2.8897E 01	1.7662E 01	1.1235E 01	0.0	0.0
17	3.9249E 01	2.7617E 01	1.1632E 01	0.0	0.0
18	3.5646E 01	2.4832E 01	1.0814E 01	0.0	0.0
19	3.9654E 01	2.8475E 01	1.1179E 01	0.0	0.0
20	6.6074E 01	5.0190E 01	1.5883E 01	0.0	0.0
21	4.7438E 01	3.9039E 01	8.3990E 00	0.0	0.0
22	1.5729E 02	1.4724E 02	1.0046E 01	0.0	0.0
23	5.1890E 01	4.3751E 01	8.1391E 00	0.0	0.0
24	8.9610E 01	7.9026E 01	1.0585E 01	0.0	0.0
25	5.8329E 02	5.6467E 02	1.8597E 01	0.0	0.0
26	4.9372E 04	4.9199E 04	1.7298E 02	0.0	0.0

ID. NUMBER= 104 COMMENT: GD L78

GROUP	TOTAL	CAPTURE	ELASTIC	FISSION	INELASTIC
1	4.8378E 00	1.6015E-02	2.4544E 00	0.0	2.3974E 00
2	5.3355E 00	2.3645E-02	2.7265E 00	0.0	2.5554E 00
3	6.1742E 00	3.3370E-02	3.5634E 00	0.0	2.5781E 00
4	6.8624E 00	4.9341E-02	4.5778E 00	0.0	2.2357E 00
5	7.1209E 00	7.6625E-02	5.4918E 00	0.0	1.5525E 00
6	7.2245E 00	1.2453E-01	6.3013E 00	0.0	7.9874E-01
7	7.3566E 00	2.0986E-01	6.8581E 00	0.0	2.8862E-01
8	7.8279E 00	3.5616E-01	7.2787E 00	0.0	9.3077E-02
9	9.0531E 00	6.7272E-01	8.3320E 00	0.0	6.8370E-02
10	1.0826E 01	1.1601E 00	9.6602E 00	0.0	6.2088E-03
11	1.3567E 01	1.8200E 00	1.1746E 01	0.0	0.0
12	1.5821E 01	2.8624E 00	1.2959E 01	0.0	0.0
13	1.7882E 01	4.3525E 00	1.3529E 01	0.0	0.0
14	2.1882E 01	8.0860E 00	1.3794E 01	0.0	0.0
15	2.6214E 01	1.2298E 01	1.3917E 01	0.0	0.0
16	3.3848E 01	1.9875E 01	1.3976E 01	0.0	0.0
17	4.5947E 01	3.1045E 01	1.4902E 01	0.0	0.0
18	4.1219E 01	3.0341E 01	1.0878E 01	0.0	0.0
19	1.3519E 02	1.0042E 02	2.8094E 01	0.0	0.0
20	1.0602E 02	8.4500E 01	2.1515E 01	0.0	0.0
21	5.4120E 01	4.2969E 01	1.1157E 01	0.0	0.0
22	1.7250E 02	1.5855E 02	1.3951E 01	0.0	0.0
23	6.8214E 01	5.3453E 01	1.4761E 01	0.0	0.0
24	1.3749E 02	1.2540E 02	1.2000E 01	0.0	0.0
25	1.1208E 03	1.1088E 03	1.2000E 01	0.0	0.0
26	4.5682E 04	4.5670E 04	1.2000E 01	0.0	0.0

ID. NUMBER= 132 COMMENT: GD154 E4

GROUP	TOTAL	CAPTURE	ELASTIC	FISSION	INELASTIC
1	4.3453E 00	3.2229E-03	2.7070E 00	0.0	1.6351E 00
2	4.9213E 00	2.5929E-02	3.1612E 00	0.0	1.7343E 00
3	6.0558E 00	1.7196E-01	4.1240E 00	0.0	1.7592E 00
4	6.8200E 00	3.6173E-01	4.7677E 00	0.0	1.6906E 00
5	6.6778E 00	3.9913E-01	4.7969E 00	0.0	1.9718E 00
6	6.9766E 00	3.8971E-01	4.8314E 00	0.0	8.5549E-01
7	6.0134E 00	3.8491E-01	5.2022E 00	0.0	4.2027E-01
8	7.0770E 00	4.5058E-01	6.5219E 00	0.0	9.9441E-02
9	9.2673E 00	5.7083E-01	8.6965E 00	0.0	0.0
10	1.2755E 01	7.6165E-01	1.1994E 01	0.0	0.0
11	1.7761E 01	1.1789E 00	1.6582E 01	0.0	0.0
12	2.5028E 01	2.0968E 00	2.2934E 01	0.0	0.0
13	3.5633E 01	3.9290E 00	3.1704E 01	0.0	0.0
14	5.1108E 01	7.5520E 00	4.3556E 01	0.0	0.0
15	7.3963E 01	1.4239E 01	5.9724E 01	0.0	0.0
16	7.9167E 01	2.2094E 01	5.7073E 01	0.0	0.0
17	1.4107E 02	6.7040E 01	7.4028E 01	0.0	0.0
18	6.8334E 01	3.5785E 01	1.2549E 01	0.0	0.0
19	1.2903E 02	1.0020E 02	2.2839E 01	0.0	0.0
20	2.1171E 01	1.8878E 01	2.2933E 00	0.0	0.0
21	1.0330E 01	7.2485E 00	3.0873E 00	0.0	0.0
22	1.1071E 01	7.7592E 00	3.3116E 00	0.0	0.0
23	1.4712E 01	1.1330E 01	3.3817E 00	0.0	0.0
24	2.0009E 01	1.6590E 01	3.4104E 00	0.0	0.0
25	2.7753E 01	2.4330E 01	3.4232E 00	0.0	0.0
26	8.8837E 01	8.5464E 01	3.4331E 00	0.0	0.0

ID. NUMBER= 133 COMMENT: GD155 E4

GROUP	TOTAL	CAPTURE	ELASTIC	FISSION	INELASTIC
1	4.3715E 00	3.2711E-03	2.6431E 00	0.0	1.7251E 00
2	4.9683E 00	1.2469E-02	3.1114E 00	0.0	1.8445E 00
3	6.0971E 00	5.4131E-02	4.0874E 00	0.0	1.9555E 00
4	6.8139E 00	1.2253E-01	4.5074E 00	0.0	2.1840E 00
5	6.6767E 00	2.0174E-01	4.1833E 00	0.0	2.3117E 00
6	6.1065E 00	3.3006E-01	3.9057E 00	0.0	1.8707E 00
7	6.0789E 00	5.0491E-01	4.6097E 00	0.0	1.1043E 00
8	7.1894E 00	7.8264E-01	5.7264E 00	0.0	6.8135E-01
9	9.4632E 00	1.3298E 00	7.9225E 00	0.0	2.1390E-01
10	1.3085E 01	2.3048E 00	1.0789E 01	0.0	0.0
11	1.8270E 01	3.9658E 00	1.4304E 01	0.0	0.0
12	2.5722E 01	7.0394E 00	1.8682E 01	0.0	0.0
13	3.6044E 01	1.1831E 01	2.4214E 01	0.0	0.0
14	4.5594E 01	1.3592E 01	3.1002E 01	0.0	0.0
15	5.6315E 01	1.8462E 01	3.7872E 01	0.0	0.0
16	7.4177E 01	3.1127E 01	4.5050E 01	0.0	0.0
17	1.0602E 02	5.2456E 01	5.3565E 01	0.0	0.0
18	1.3837E 02	9.9329E 01	3.9051E 01	0.0	0.0
19	1.5003E 02	1.3531E 02	1.4740E 01	0.0	0.0
20	2.2751E 02	2.0708E 02	1.9837E 01	0.0	0.0
21	2.4369E 02	2.3618E 02	7.5094E 00	0.0	0.0
22	8.8044E 02	8.5421E 02	2.6221E 01	0.0	0.0
23	2.5382E 02	2.5126E 02	2.5628E 00	0.0	0.0
24	1.4797E 02	1.4340E 02	4.5711E 00	0.0	0.0
25	7.5864E 02	7.4932E 02	9.3213E 00	0.0	0.0
26	6.1374E 04	6.1316E 04	5.7996E 01	0.0	0.0

ID. NUMBER= 134 COMMENT: GD*56 E4

GROUP	TOTAL	CAPTURE	ELASTIC	FISSION	INELASTIC
1	4.3976E 00	2.8550E-03	2.7161E 00	0.0	1.6787E 00
2	5.0019E 00	1.5424E-02	3.2032E 00	0.0	1.7833E 00
3	6.1101E 00	6.2527E-02	4.2172E 00	0.0	1.8304E 00
4	6.8139E 00	1.2486E-01	4.7953E 00	0.0	1.8537E 00
5	6.4894E 00	1.7174E-01	5.1620E 00	0.0	1.3359E 00
6	6.1382E 00	1.6240E-01	4.9513E 00	0.0	1.0.44E 00
7	6.8708E 00	1.6957E-01	5.6418E 00	0.0	5.5536E-01
8	7.3522E 00	2.0712E-01	6.9246E 00	0.0	2.2.54E-01
9	9.7057E 00	2.9024E-01	9.4084E 00	0.0	7.019[illegible]E-03
10	1.3479E 01	3.9755E-01	1.3082E 01	0.0	0.0
11	1.8808E 01	5.6969E-01	1.3238E 01	0.0	0.0
12	2.4540E 01	9.4850E-01	2.5592E 01	0.0	0.0
13	3.7829E 01	1.7778E 00	3.6052E 01	0.0	0.0
14	3.5139E 01	2.9058E 00	3.2233E 01	0.0	0.0
15	3.7435E 01	6.8324E 00	3.0802E 01	0.0	0.0
16	1.8345E 01	4.6823E 00	1.7663E 01	0.0	0.0
17	8.6480E 01	2.6139E 01	6.0347E 01	0.0	0.0
18	3.4155E 00	9.7508E-02	3.3180E 00	0.0	0.0
19	1.4223E 02	1.1972E 02	2.2510E 01	0.0	0.0
20	3.1452E 00	2.1637E-01	2.9488E 00	0.0	0.0
21	3.3057E 00	1.4150E-01	3.1642E 00	0.0	0.0
22	3.3914E 00	1.6094E-01	3.2305E 00	0.0	0.0
23	3.4703E 00	2.1314E-01	3.2572E 00	0.0	0.0
24	3.5670E 00	2.9811E-01	3.2688E 00	0.0	0.0
25	3.7031E 00	4.2900E-01	3.2741E 00	0.0	0.0
26	4.7555E 00	1.4772E 00	3.2783E 00	0.0	0.0

ID. NUMBER= 135 COMMENT: GD*57 E4

GROUP	TOTAL	CAPTURE	ELASTIC	FISSION	INELASTIC
1	4.4239E 00	3.0240E-03	2.6670E 00	0.0	1.7538E 00
2	5.0377E 00	1.1512E-02	3.1540E 00	0.0	1.8723E 00
3	6.1340E 00	4.8164E-02	4.1112E 00	0.0	1.9246E 00
4	6.8201E 00	1.1134E-01	4.5095E 00	0.0	2.1192E 00
5	6.4799E 00	1.6342E-01	4.6024E 00	0.0	2.1141E 00
6	6.1771E 00	1.9453E-01	4.4502E 00	0.0	1.8244E 00
7	6.8359E 00	2.5306E-01	5.0069E 00	0.0	3.7597E-01
8	7.4845E 00	3.6152E-01	6.3723E 00	0.0	7.5[illegible]8E-01
9	9.9245E 00	6.2416E-01	8.8455E 00	0.0	4.3479E-01
10	1.3748E 01	1.0937E 00	1.2676E 01	0.0	0.0
11	1.9270E 01	1.8530E 00	1.7417E 01	0.0	0.0
12	2.7183E 01	3.4213E 00	2.3762E 01	0.0	0.0
13	4.0073E 01	7.8155E 00	3.2258E 01	0.0	0.0
14	9.7445E 01	5.4135E 01	4.3310E 01	0.0	0.0
15	2.0248E 02	1.7637E 02	5.8107E 01	0.0	0.0
16	2.0464E 02	1.5403E 02	4.9708E 01	0.0	0.0
17	1.2216E 02	6.6790E 01	5.5364E 01	0.0	0.0
18	9.0821E 01	6.8012E 01	2.2810E 01	0.0	0.0
19	3.7659E 01	3.1580E 01	6.0788E 00	0.0	0.0
20	2.4646E 02	2.1301E 02	3.3459E 01	0.0	0.0
21	5.4727E 00	2.2215E 00	3.4512E 00	0.0	0.0
22	1.5420E 02	1.4839E 02	5.8035E 00	0.0	0.0
23	6.8908E 01	6.0064E 01	8.8644E 00	0.0	0.0
24	4.1697E 02	3.9302E 02	2.1972E 01	0.0	0.0
25	3.0075E 03	2.9362E 03	7.3235E 01	0.0	0.0
26	2.5646E 05	2.5520E 05	1.2535E 03	0.0	0.0

ID. NUMBER= 136 COMMENT: 6D-58 E4

GROUP	TOTAL	CAPTURE	ELASTIC	FISSION	INELASTIC
1	4.4500E 00	2.4785E-03	2.7079E 00	0.0	1.7377E 00
2	5.0721E 00	5.4783E-03	3.2197E 00	0.0	1.8470E 00
3	6.1461E 00	2.0324E-02	4.2419E 00	0.0	1.8630E 00
4	6.6094E 00	4.7750E-02	4.8731E 00	0.0	1.8825E 00
5	6.4713E 00	7.1981E-02	5.1694E 00	0.0	1.4699E 00
6	6.2114E 00	8.4715E-02	5.0370E 00	0.0	1.0697E 00
7	6.3145E 00	1.0105E-01	5.4031E 00	0.0	6.4339E-01
8	7.4142E 00	1.3236E-01	7.2247E 00	0.0	2.5529E-01
9	1.0127E 01	2.0492E-01	9.9033E 00	0.0	1.8343E-02
10	1.4122E 01	2.8791E-01	1.3835E 01	0.0	0.0
11	1.9739E 01	3.9685E-01	1.9342E 01	0.0	0.0
12	2.0211E 01	5.5401E-01	2.1657E 01	0.0	0.0
13	1.6066E 01	9.6762E-01	1.5079E 01	0.0	0.0
14	1.9601E 01	2.2604E 00	1.7161E 01	0.0	0.0
15	3.3706E 01	6.3898E 00	2.9316E 01	0.0	0.0
16	2.5079E 01	9.5077E 00	1.5582E 01	0.0	0.0
17	3.4218E 00	5.4373E-01	3.0781E 00	0.0	0.0
18	3.4948E 00	4.4311E-02	3.4505E 00	0.0	0.0
19	4.7534E 01	5.9634E 01	7.9695E 00	0.0	0.0
20	4.0724E 00	1.4863E 00	2.5381E 00	0.0	0.0
21	3.4259E 00	2.2568E-01	3.2002E 00	0.0	0.0
22	3.5306E 00	2.5953E-01	3.2711E 00	0.0	0.0
23	3.4473E 00	3.5175E-01	3.2956E 00	0.0	0.0
24	3.8052E 00	4.9951E-01	3.3057E 00	0.0	0.0
25	4.0832E 00	7.2298E-01	3.3102E 00	0.0	0.0
26	5.8245E 00	2.5109E 00	3.3136E 00	0.0	0.0

ID. NUMBER= 137 COMMENT: 6D-6C E4

GROUP	TOTAL	CAPTURE	ELASTIC	FISSION	INELASTIC
1	4.6022E 00	3.6778E-03	2.7291E 00	0.0	1.7654E 00
2	5.1655E 00	6.1686E-02	3.2320E 00	0.0	1.8720E 00
3	6.1918E 00	7.9124E-02	4.2305E 00	0.0	1.8825E 00
4	6.6084E 00	8.8057E-02	5.0361E 00	0.0	1.4643E 00
5	6.6539E 00	8.7990E-02	5.1386E 00	0.0	1.4274E 00
6	6.2612E 00	7.7001E-02	5.0574E 00	0.0	1.1201E 00
7	6.4737E 00	8.1740E-02	5.7690E 00	0.0	6.4695E-01
8	7.8777E 00	1.0135E-01	7.4999E 00	0.0	2.7644E-01
9	1.0517E 01	1.6109E-01	1.0329E 01	0.0	2.6680E-02
10	1.4696E 01	2.2615E-01	1.4470E 01	0.0	0.0
11	2.0528E 01	2.9901E-01	2.0229E 01	0.0	0.0
12	2.8952E 01	4.8453E-01	2.8467E 01	0.0	0.0
13	3.0585E 01	8.0525E-01	3.0720E 01	0.0	0.0
14	2.8806E 01	9.4105E-01	2.8953E 01	0.0	0.0
15	3.3851E 01	3.0316E 00	3.0819E 01	0.0	0.0
16	8.7633E 00	4.2458E 00	4.5181E 00	0.0	0.0
17	3.1412E 00	2.7840E-02	3.1134E 00	0.0	0.0
18	3.4641E 00	1.6342E-02	3.4477E 00	0.0	0.0
19	3.5480E 00	2.2732E-02	3.5253E 00	0.0	0.0
20	3.5898E 00	3.2776E-02	3.5570E 00	0.0	0.0
21	3.6187E 00	4.7496E-02	3.5710E 00	0.0	0.0
22	3.6473E 00	6.9870E-02	3.5774E 00	0.0	0.0
23	3.6827E 00	1.0237E-01	3.5803E 00	0.0	0.0
24	3.7317E 00	1.4990E-01	3.5817E 00	0.0	0.0
25	3.8028E 00	2.2046E-01	3.5823E 00	0.0	0.0
26	4.3560E 00	7.7313E-01	3.5828E 00	0.0	0.0

ГРАФИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СЕЧЕНИЙ

Рисунки подготовлены отдельным блоком программы **FEDGROUP-R** на основе точечных представлений сечений вычисленных блоком 11 и хранящихся в рабочих файлах формата РФОД на лентах. Сечения для отдельных изотопов вычислены на основе **ENDF/B-IV Fission Products.**

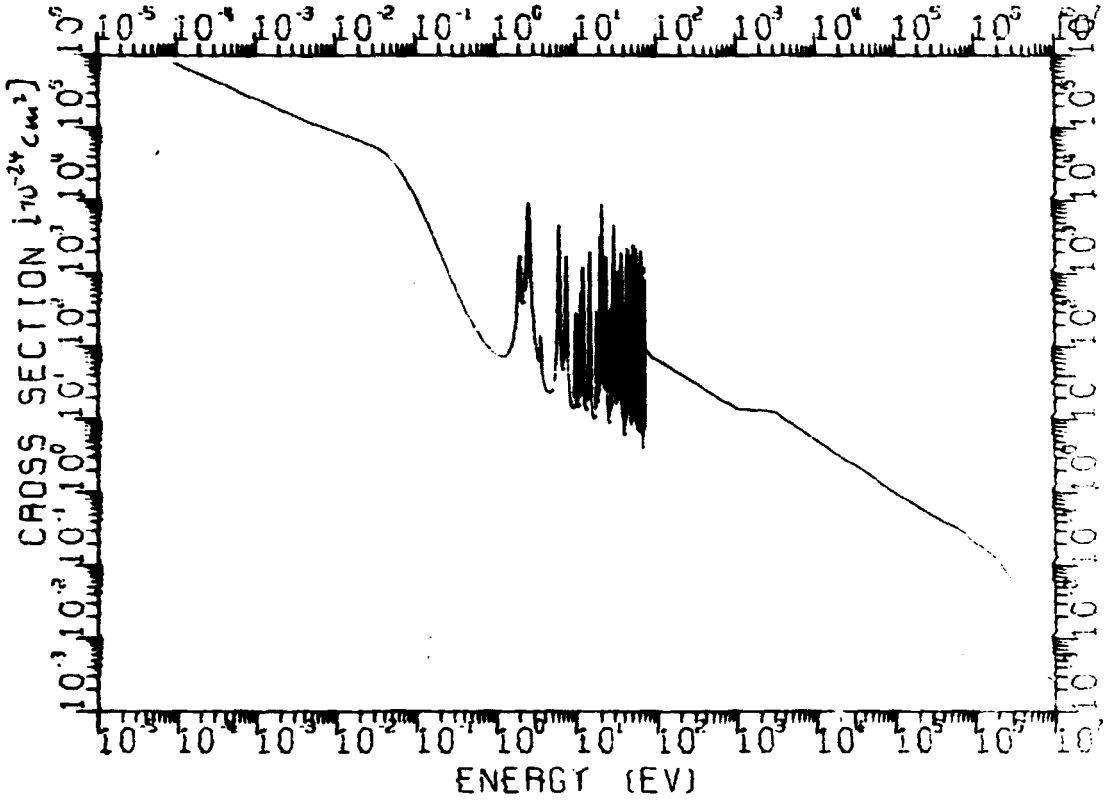

Рис. 1: $\sigma(n,\gamma)$ Gd 155

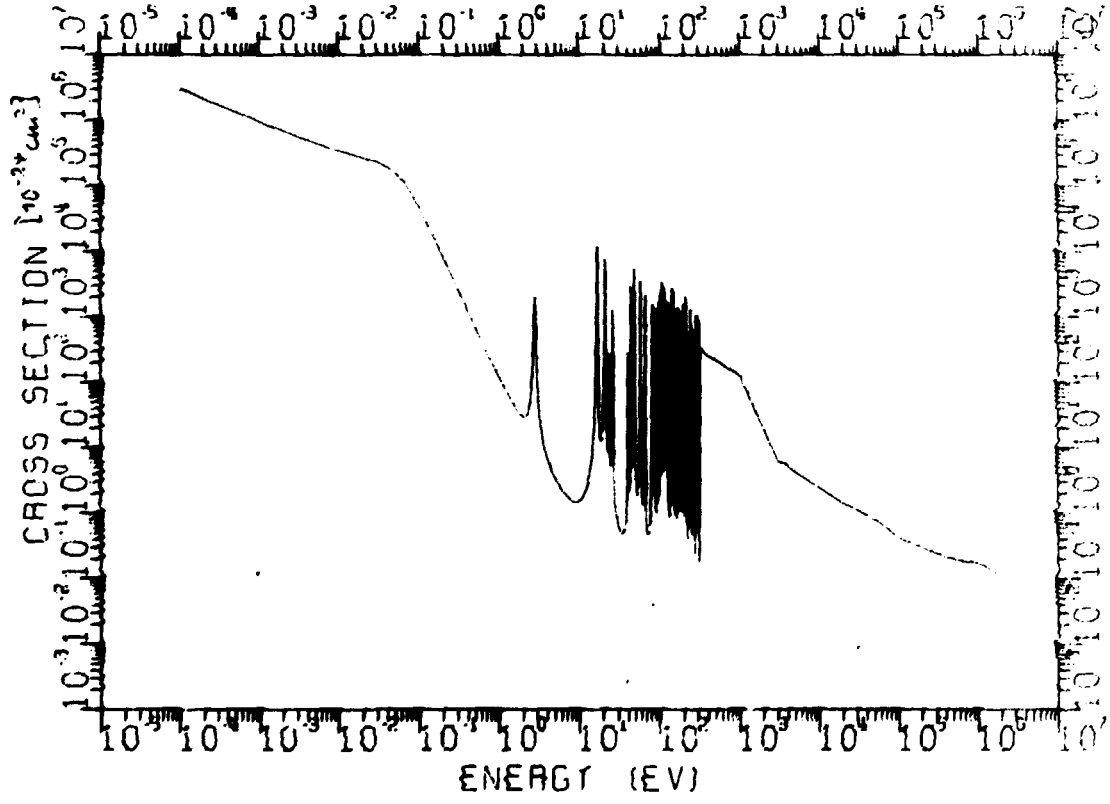

Рис. 2: $\sigma(n,\gamma)$ Gd 157

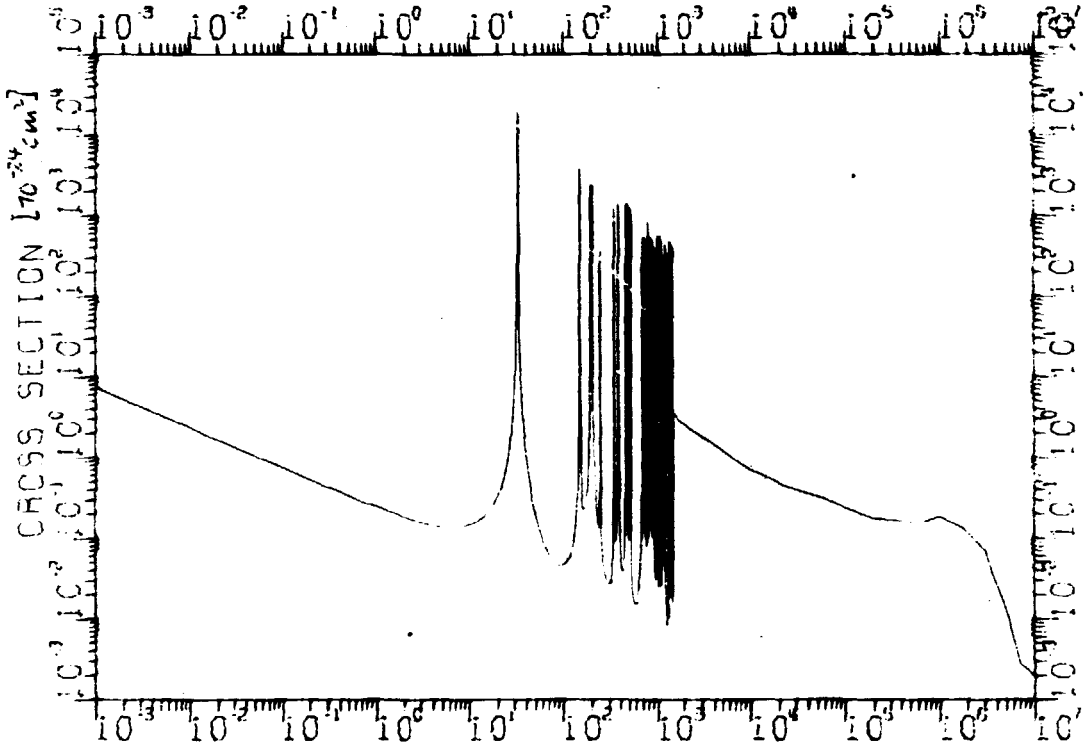

Рис. 3: $\sigma(n,\gamma)$ Gd 156

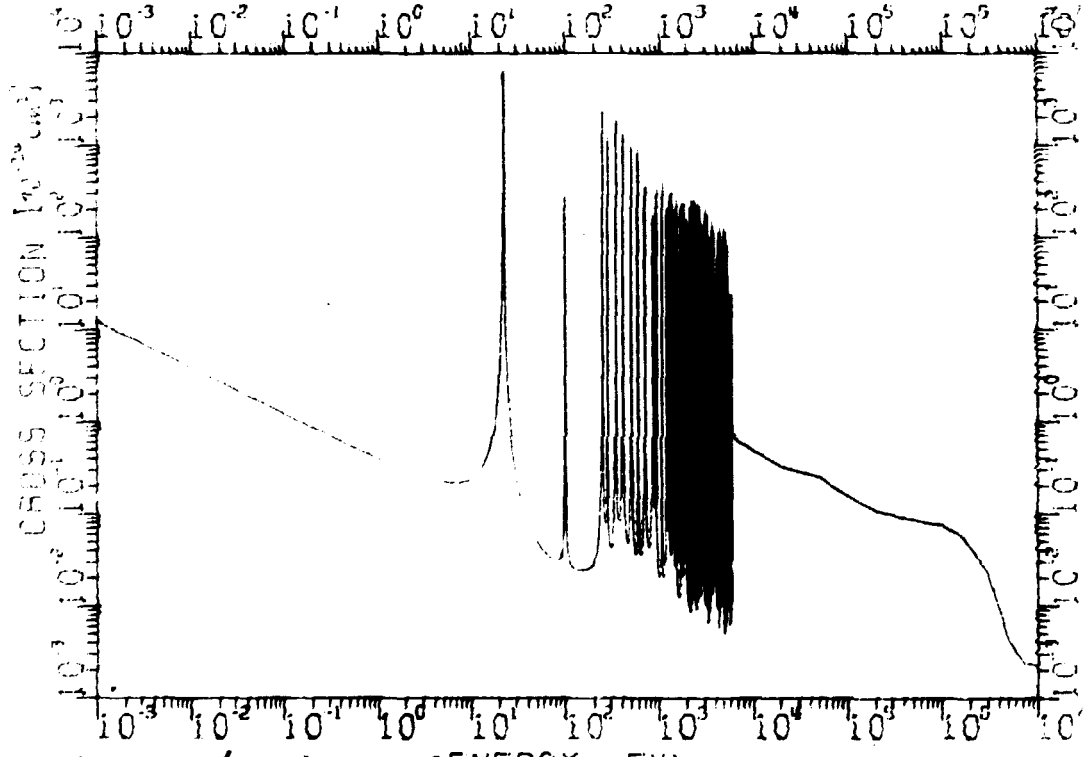

Рис. 4: $\sigma(n,\gamma)$ Gd 158

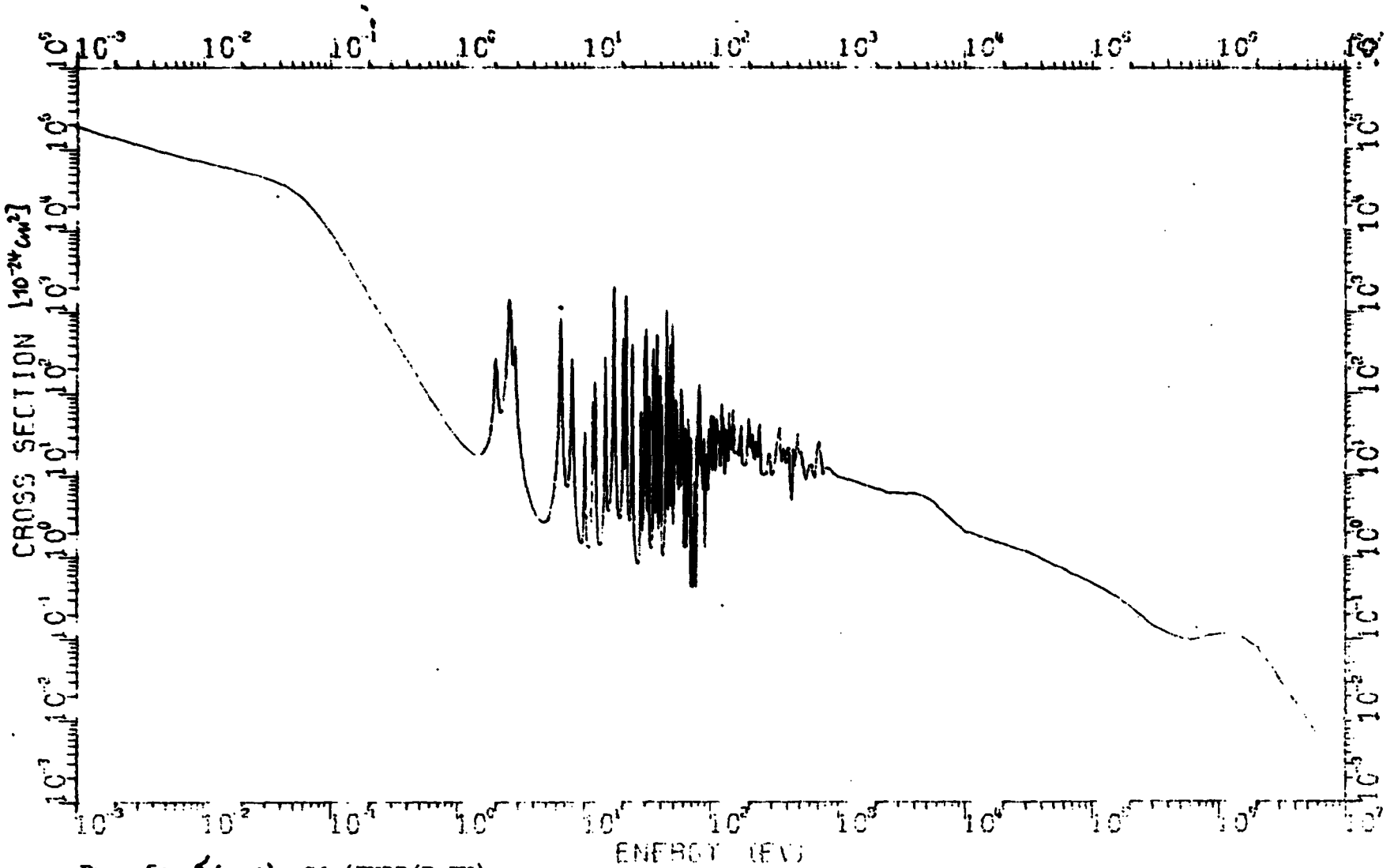

Рис. 5: $\sigma(n,\gamma)$ Gd (ENDF/B-IV)

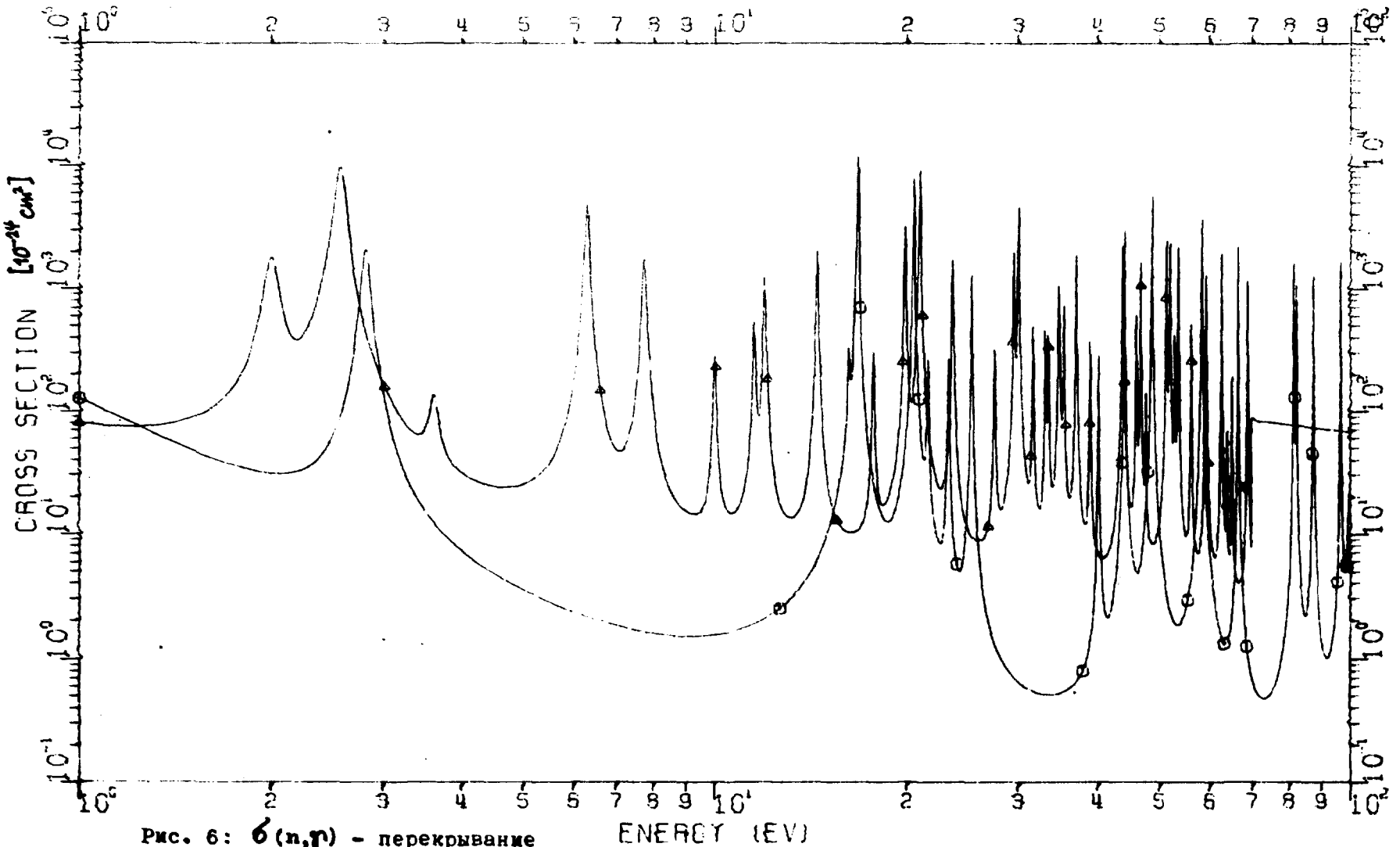

Рис. 6: $\sigma(n,\gamma)$ – перекрывание резонансов Gd 155 (▲) и Gd 157 (o) в надтепловой области

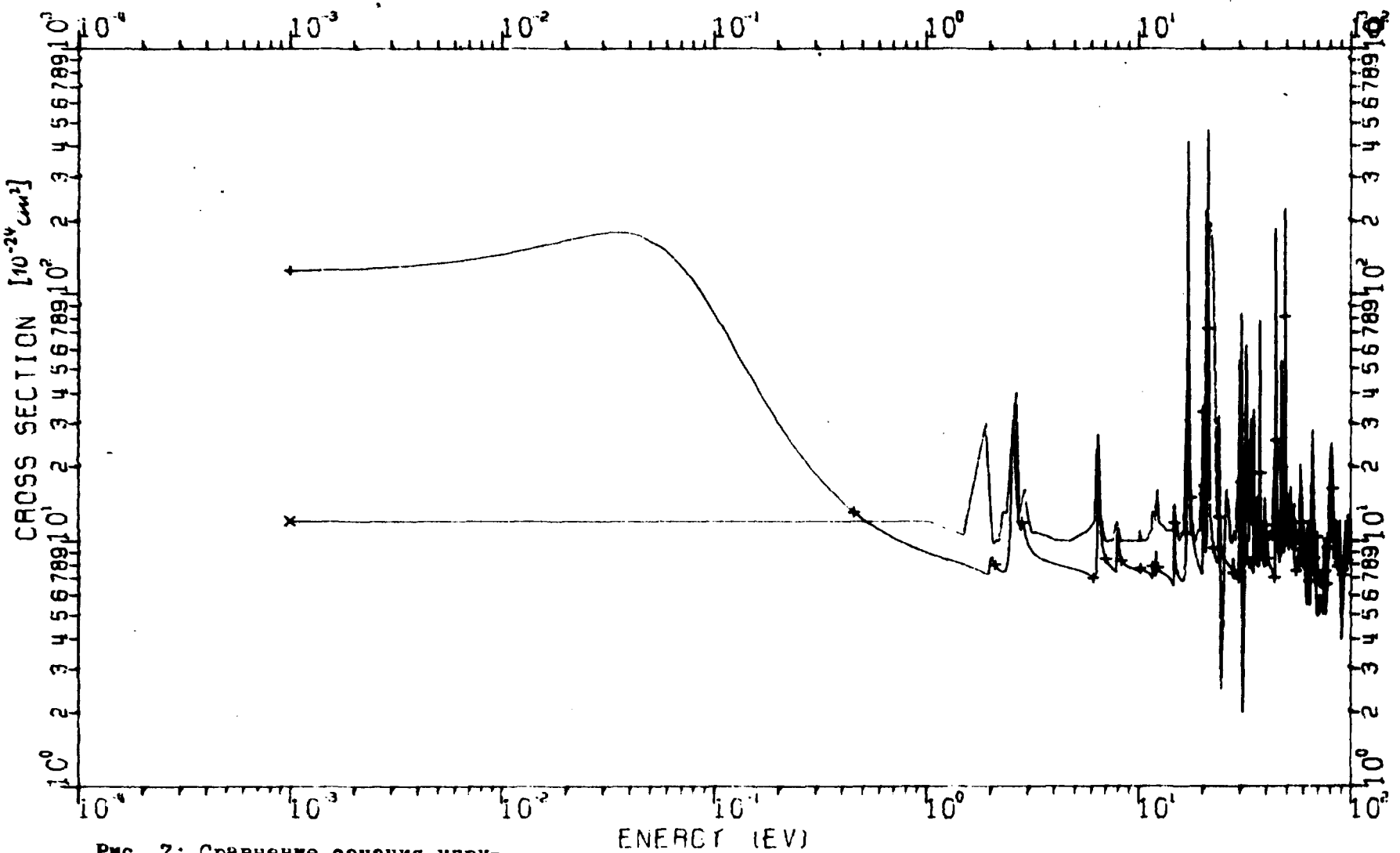

Рис. 7: Сравнение сечения упругого рассеяния для гадолиния из ENDF/B-IV (+) и ENDL 78 (x)

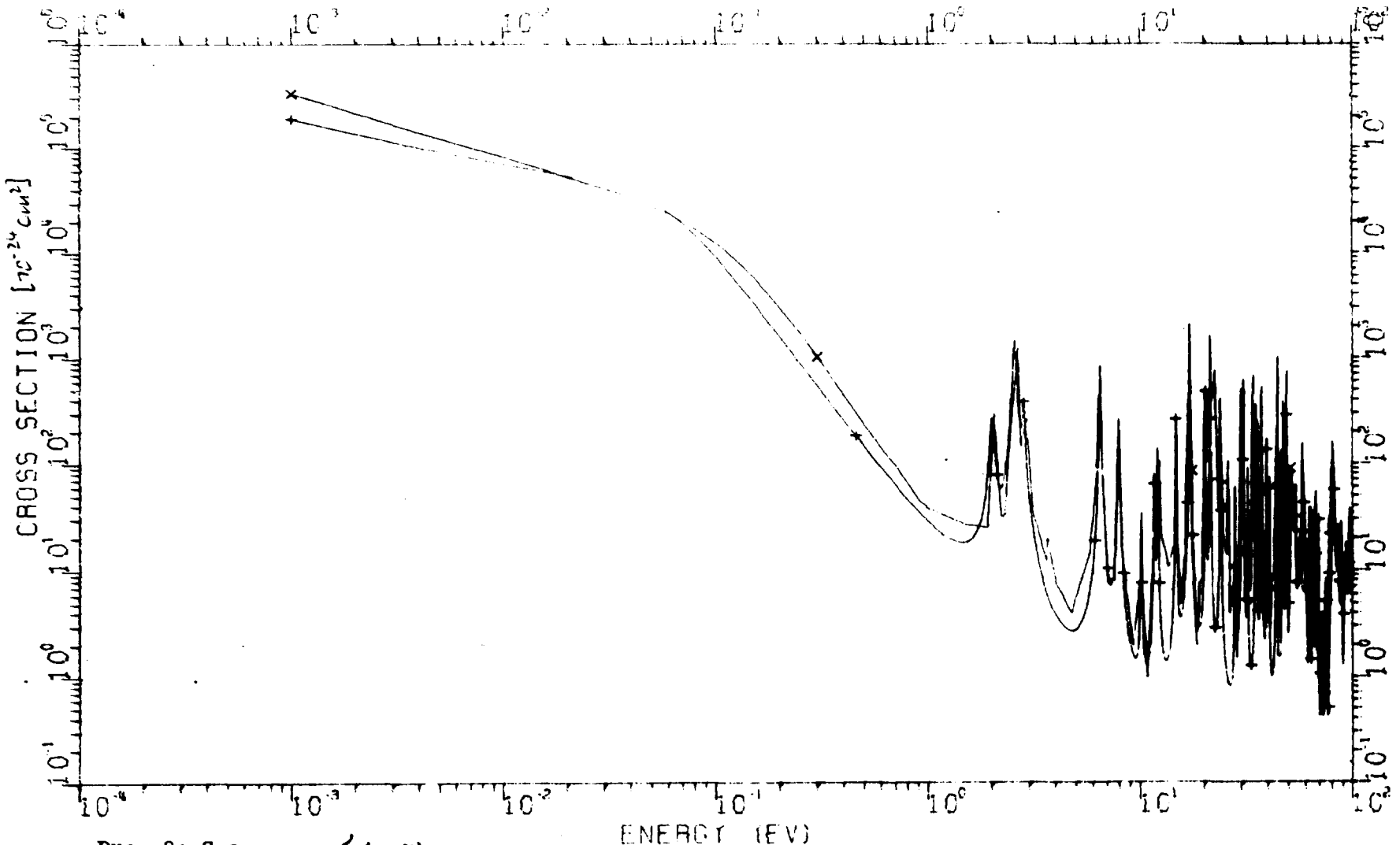

Рис. 8: Сравнение σ (n,γ) для гадолиния из ENDF/B-IV (+) и ENDL 78 (x)