

66. ДИСПРОЗИЙ

66.0 Общие замечания

Для библиотеки РОСФОНД требовалось отобрать нейтронные данные для 10 стабильных и долгоживущих изотопов диспрозия. Представлялось также целесообразным включить данные для ^{165}Dy , имеющего период полураспада лишь 2.33 ч., но обладающим высоким сечением захвата тепловых нейтронов (около 4000 барн). Данные для всех этих изотопов содержатся в библиотеке ФОНД-2.2., однако, как будет видно, из дальнейшего, большинство из них целесообразно заменить на более современные и полные оценки, выполненные в последние годы и включенные в современные зарубежные библиотеки. Рассмотрим результаты деятельности по переоценке данных для изотопов диспрозия, проведенной в последние годы в сравнении с оценками, содержащимися в ФОНД-2.2. При этом главное внимание будем обращать на результаты оценки сечения захвата, поскольку

Радиоактивные изотопы.

Из 3-х долгоживущих изотопов диспрозия - ^{154}Dy , ^{159}Dy и ^{166}Dy - авторы библиотеки EAF в версии EAF-99 пересмотрели данные только для ^{159}Dy ($T_{1/2}=144.4$ дн.), увеличив сечение захвата тепловых нейтронов с 83.45 барн (EAF-3) до 8000 барн, а в версии EAF-2003 – до 10368 барн. Основанием для пересмотра явился пересчет сечения по программе MUSGAM.

Изменено сечение захвата и для ^{165}Dy ($T_{1/2}=2.33$ ч.) с 3600 барн до 4447 барн. Заметим, что Мухабхаб¹ приводит для этого сечения значение 3800 ± 300 барн. Никаких аргументов в пользу увеличения сечения захвата для этого радионуклида в доступной документации не приводится.

Стабильные изотопы.

Данные для ^{156}Dy (0.06%) и ^{156}Dy (0.10%) содержатся только в активационных библиотеках EAF. Сечения радиационного захвата для них пересматривались на основе программы SIGECN-MASGAN, но сколько-нибудь существенного изменения не претерпели.

Данные для ^{160}Dy (2.34%) в библиотеке ФОНД-2.2 были взяты из EAF-3. В ENDF/B-VI и в JEF-3.0 использовались более совершенные оценки, опирающиеся на резонансные параметры, оцененные Мухабхабом. В ENDF.B-VII принята оценка Ох (S.Y.Oh, KAERI)(резонансная область) и Обложинского (P. Oblozinsky, BNL) (область более высоких энергий). В оценке принимали активное участие Мухабхаб (S.F. Mughabghab, BNL) и Ли (Y.D.Lee, KAERI).

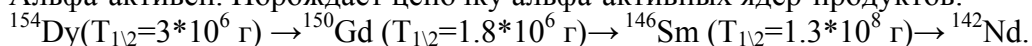
Для ^{161}Dy , ^{162}Dy , ^{163}Dy , ^{164}Dy в ФОНД-2.2 были включены оценки из JEF-2, в которых сечения в области разрешенных резонансов описывались параметрами меньшего числа резонансов, чем было приведено Мухабхабом¹. К моменту формирования РОСФОНДа появились новые оценки той же группы авторов, которая выполняла оценку данных для ^{160}Dy . Будучи самыми последними по времени и по методике оценки эти данные, несомненно, являются более надежными, чем прежние оценки, принятые в ФОНД-2.2.

При изложении данных для отдельных изотопов мы будем исходить из той общей информации, которая изложена выше.

¹ S.F.Mughabghab et. Al. Neutron Cross Sections. V.1. Neutron Resonance Parameters and Thermal Cross Sections. Part B. Academic Press, 1981.

66.1. Диспрозий-154

Альфа-активен. Порождает цепочку альфа-активных ядер-продуктов:



В ФОНД-2.2 – J.Kopecky, D.Nierop, 1992 (EAF-3).

В JEFF-3.1 (Activation) – оценка Forrest, Kopecky, Sublet, Koning, 2003.

В других библиотеках оцененные данные отсутствуют.

На рис. 1-3 сравниваются сечения различных реакций из перечисленных оценок. Как видно, сечение радиационного захвата сохранено неизменным. Сечения остальных реакций пересчитаны на основе более современных модельных параметров. Возможно, они являются более надежными, т.к. рекомендуемые ныне параметры основаны на более полном учете систематических знаний о нейтронных сечениях сходных ядер.

Оценка содержит данные только о сечениях нейтронных реакций. Данные о полном сечении, о сечениях упругого и неупругого рассеяния и об энерго-угловых распределениях вторичных нейтронов отсутствуют.

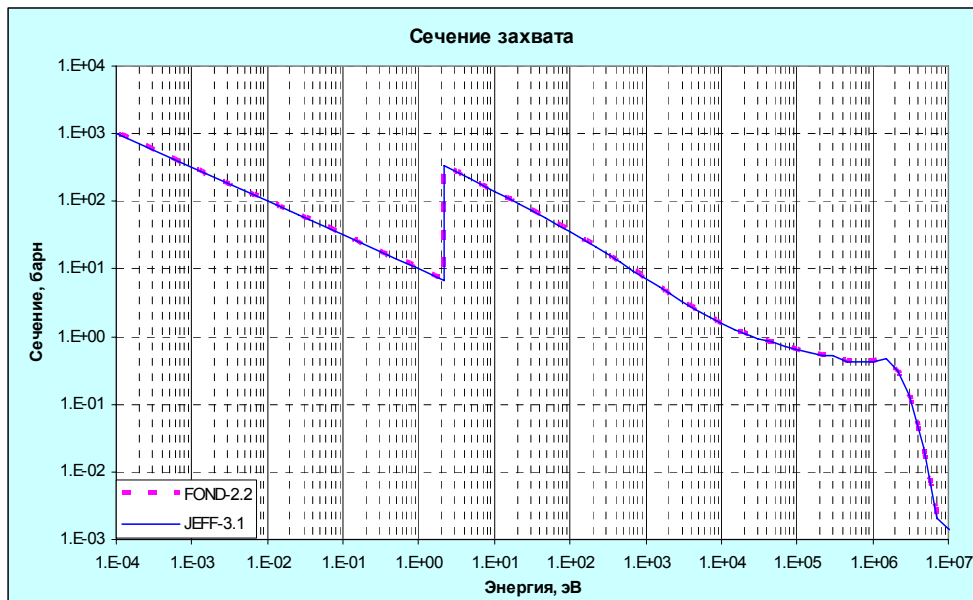


Рис.1

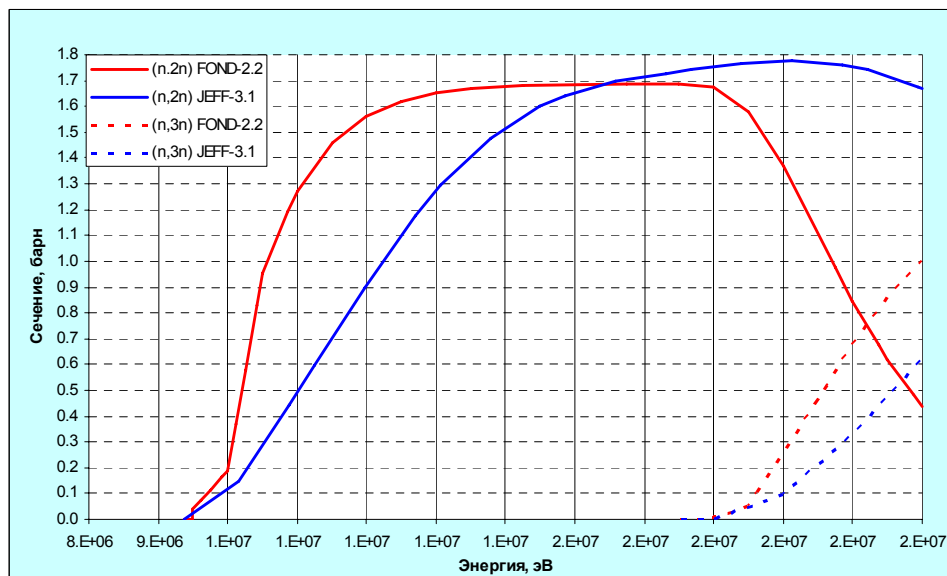


Рис.2.

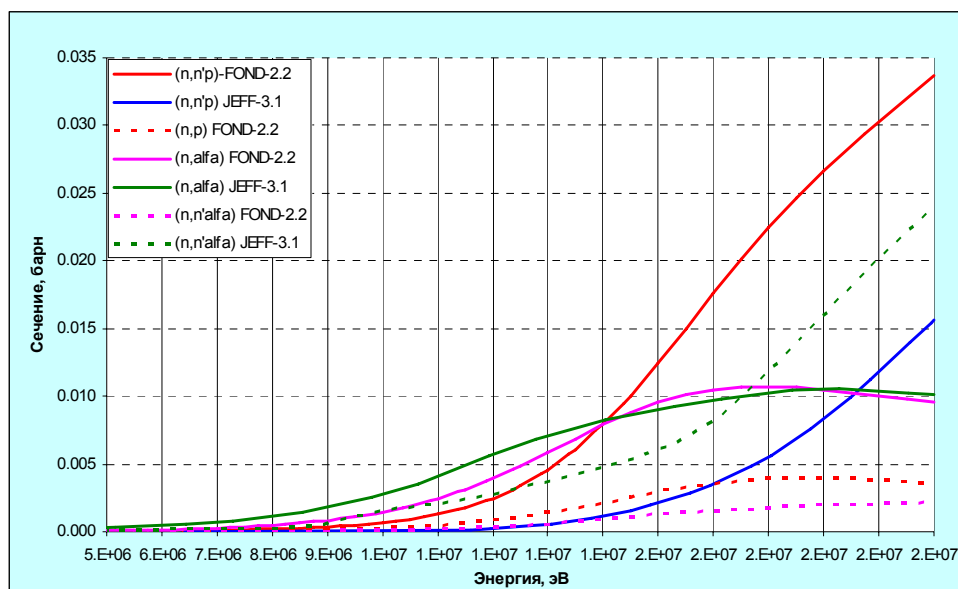


Рис. 3.

Заключение

В РОСФОНД принимается оценка Forrest, Kopecky, Sublet, Koning, 2003 (JEFF-3.1).

Файлы MF=8 и MF=10 исключены. Изомеры, сечения которых приведены в файле MF=10, имеют периоды полураспада менее суток. Суммарные сечения реакций (n,p), (n,n'd) и (n,n't), просуммированные по подсекциям файла MF=10, включены в файл MF=3.

Сечение захвата тепловых нейтронов при пересмотре не изменилось: оно равно 63.28 барна.

Автор отбора данных

Николаев М.Н.

66.2. Диспрозий-156

Содержание в естественной смеси 0.06%.

В ФОНД-2.2 – J.Корецкий, D.Nierop, 1992 (EAF-3).

В JEFF-3.1 (Activation) – оценка, Forrest Kopecky, Sublet, Koning, 2003.

В ENDF/B-VII b1.2 – оценка Herman, Oblozinsky, Sarer, Mughabgh, 2005. Введена область разрешенных резонансов (до 91 эВ), данные о полном и парциальных сечениях и энерго-угловые распределения продуктов нейтронных реакций.

В JENDL оцененные данные отсутствуют.

Первые две оценки содержат данные только о сечениях нейтронных реакций. Данные о полном сечении, о сечениях упругого и неупругого рассеяния и об энерго-угловых распределениях вторичных нейтронов отсутствуют.

Оценка, принятая в ENDF/B-VII b1.2, полная и несомненно, что в РОСФОНД следует рекомендовать именно ее. К сожалению, в этой оценке отсутствуют данные по реакции (n,3n), хотя в перечне реакций, указанном в текстовом заголовке, она перечислена. Решено ввести сечение этой реакции, взяв его из оценки JEFF-3.1, а энерго-угловые распределения продуктов реакции позаимствовать из оценки, принятой в ENDF/B-VII b1.2 для диспрозия-160, внося в нее необходимые коррективы.

На рис. 4-7 сравниваются сечения основных реакций из перечисленных оценок. В случае сечения захвата приведены имеющиеся скудные экспериментальные данные. Важно отметить, что точка при 500 кэВ, появившаяся после выполнения оценки, прекрасно с ней согласуется.

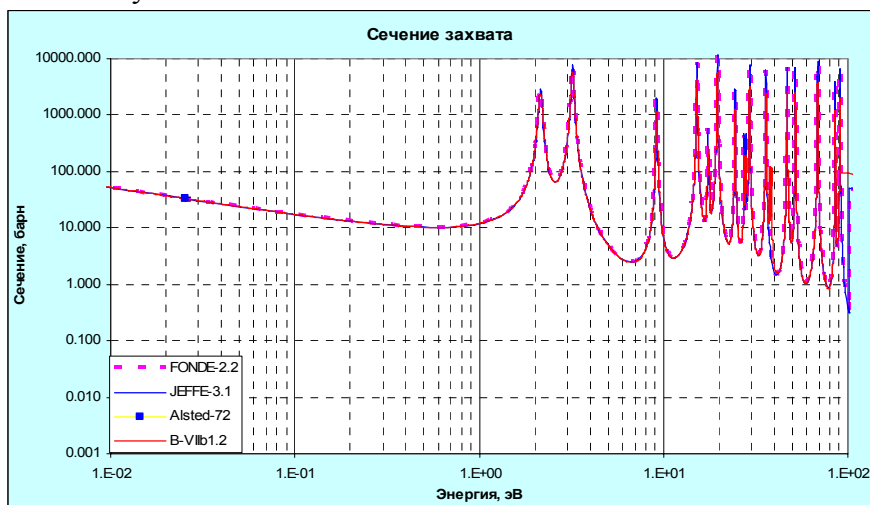


Рис.4а

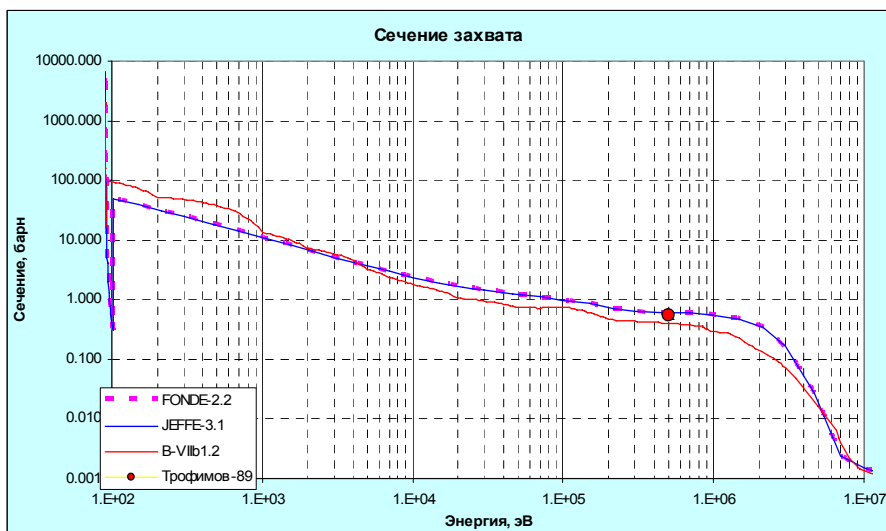


Рис.46

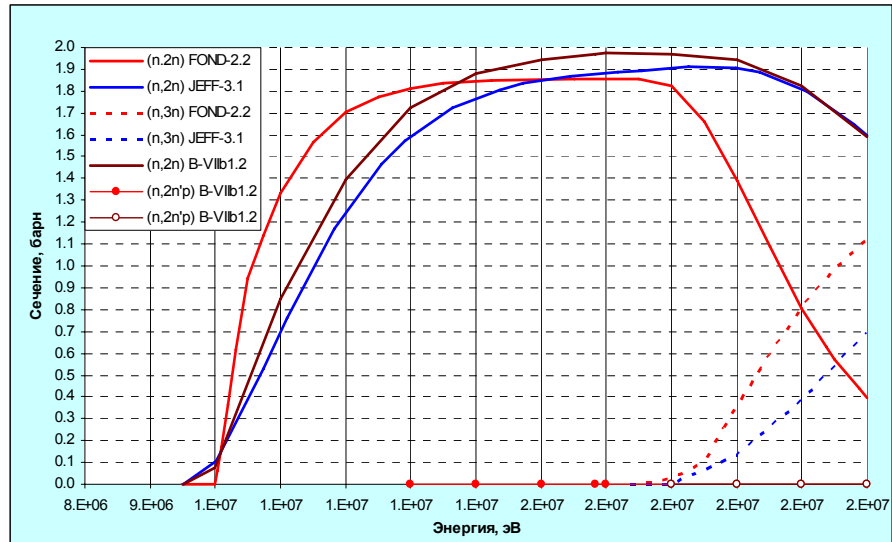


Рис.5

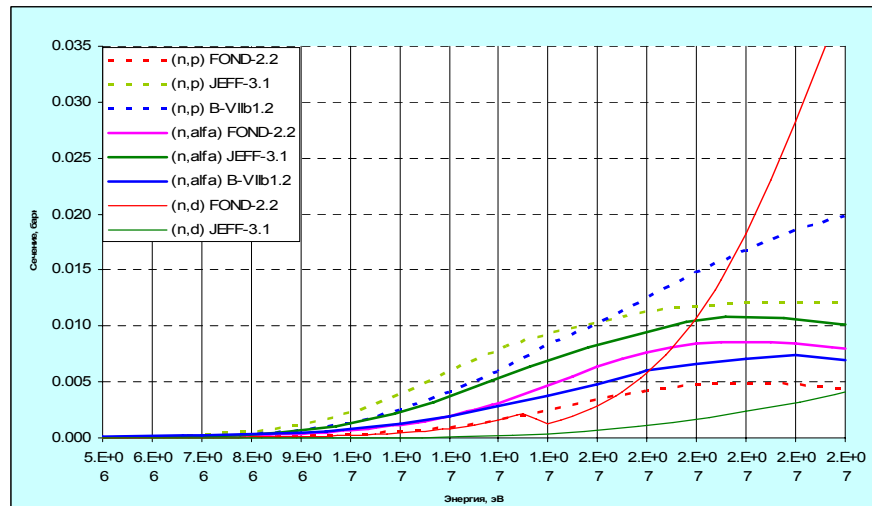


Рис. 6

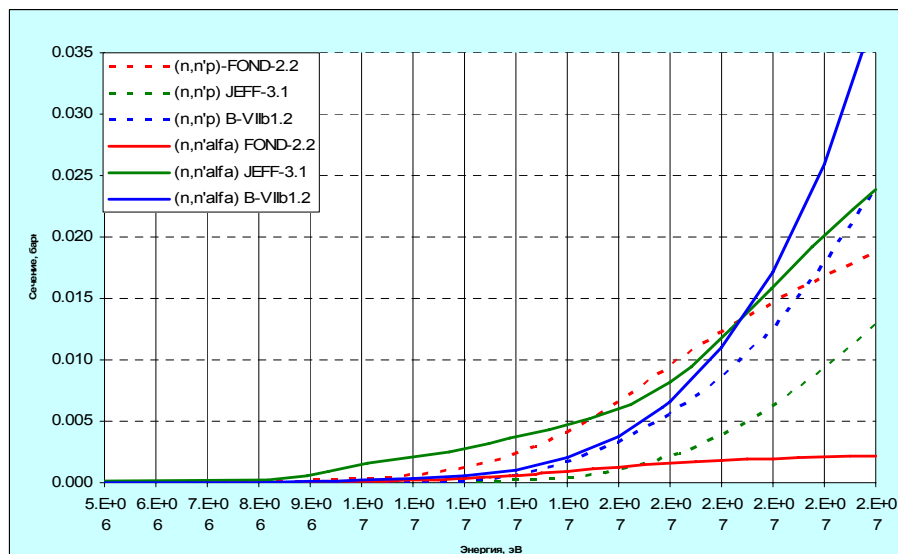


Рис.7

Заключение

В РОСФОНД принимается оценка Herman,Oblozinsky,Sarer,Mughabgh, 2005 (ENDF/B-VIIb1.2) с введением данных о сечении и энерго-угловых распределениях реакции (n,3n), полученных указанным выше образом. Дополнительно включена секция 9/103 с вероятностями образования тербия-156 в основном и изомерных состояниях на основе данных EAF-2003².

Сечения основных реакций на интегральных спектрах приведены в нижеследующей таблице **жирным шрифтом** сравнении с данными, полученными на основе библиотеки ФОНД-2.2 (обычным синим шрифтом)

	Total	Elastic	Inelastic	(n,2n)	(n,3n)	(n, γ)	(n,p)	(n, α)
0.0253 эВ	37.15	4.09			33.06		0.000	37.15
					33.04			
Резонансный интеграл	2075.01	1053.35			1021.66		0.000	2075.01
					954.45			
Спектр деления ²³⁵ U	8.08	5.71	2.14	0.002	0.225	0.000	0.000	8.08
				0.002	0.400	0.000	0.000	
14 МэВ	5.34	2.99	0.46	1.88	0.001	0.008	0.004	5.34
				1.84	0.001	0.002	0.005	

Автор отбора данных

Николаев М.Н.

66.3. Диспрозий-158

Содержание в естественной смеси 0.10%.

В ФОНД-2.2 –J.Kopecky, D.Nierop, 1992 (EAF-3).

В JEFF-3.1 (Activation) – оценка, Forrest Kopecky, Sublet, Koning, 2003.

В ENDF/B-VII b1.2 – оценка Herman,Oblozinsky,Sarer,Mughabgh, 2005. Введена область разрешенных резонансов (до 86.2 эВ), данные о полном и парциальных сечениях и энерго-угловые распределения продуктов нейтронных реакций.

В JENDL оцененные данные отсутствуют.

Первые две оценки содержат данные только о сечениях нейтронных реакций. Данные о полном сечении, о сечениях упругого и неупругого рассеяния и об энерго-угловых распределениях вторичных нейтронов отсутствуют.

Оценка, принятая в ENDF/B-VII b1.2, полная и несомненно, что в РОСФОНД следует рекомендовать именно ее. К сожалению, в этой оценке отсутствуют данные по реакции (n,3n), что в перечне реакций, указанном в текстовом заголовке, она перечислена. Решено ввести сечение этой реакции, взяв его из оценки JEFF-3.1, а энерго-угловые распределения продуктов реакции позаимствовать из оценки, принятой в ENDF/B-VII b1.2 для диспрозия-160, внося в нее необходимые коррективы.

На рис. 7-10 сравниваются сечения основных реакций из перечисленных оценок. В случае сечения захвата приведены имеющиеся скудные экспериментальные данные. Важно отметить, что точка при 500 кэВ, появившаяся после выполнения оценки, прекрасно с ней согласуется.

На рис. 4-6 сравниваются сечения основных реакций из перечисленных оценок. В случае сечения захвата приведены имеющиеся скудные экспериментальные данные.

² Сравнительно долгоживущим ($T_{1/2}=24.4$ ч) является первое изомерное состояние.

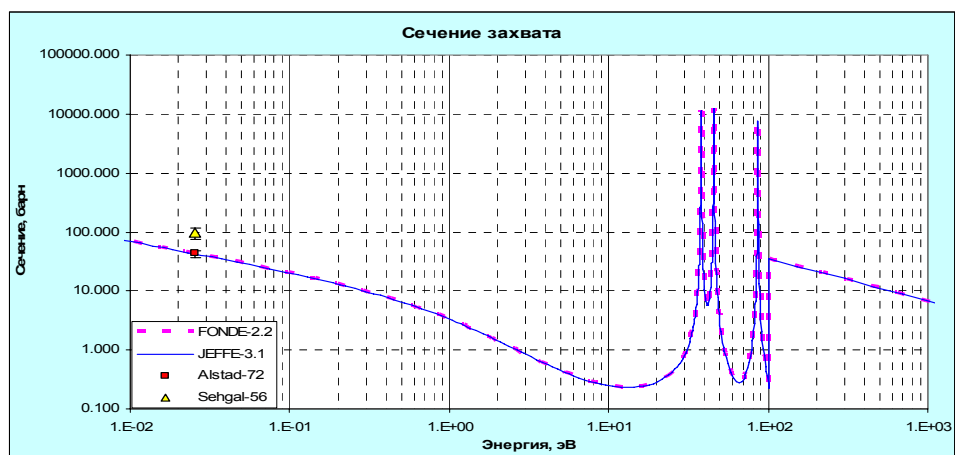


Рис.7а

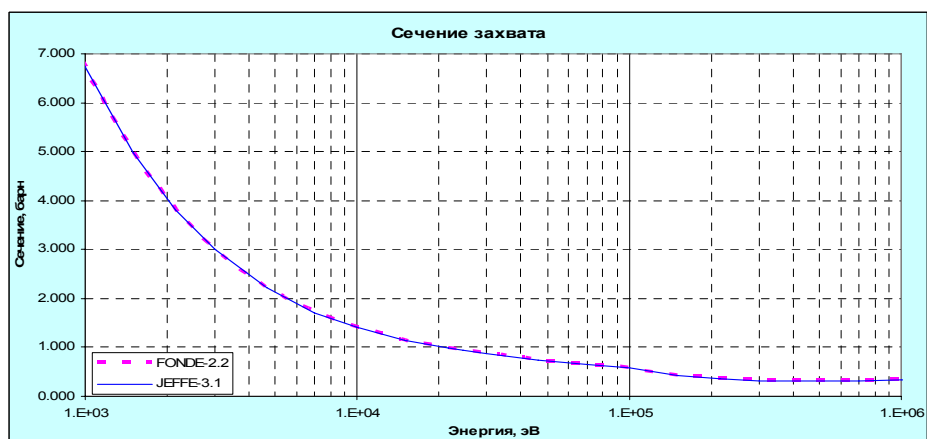


Рис.7б

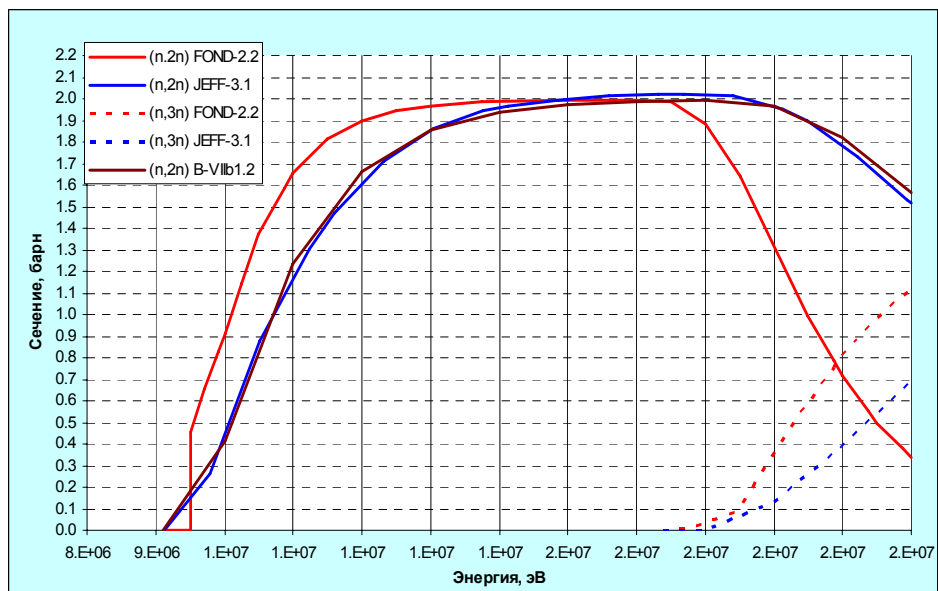


Рис.8

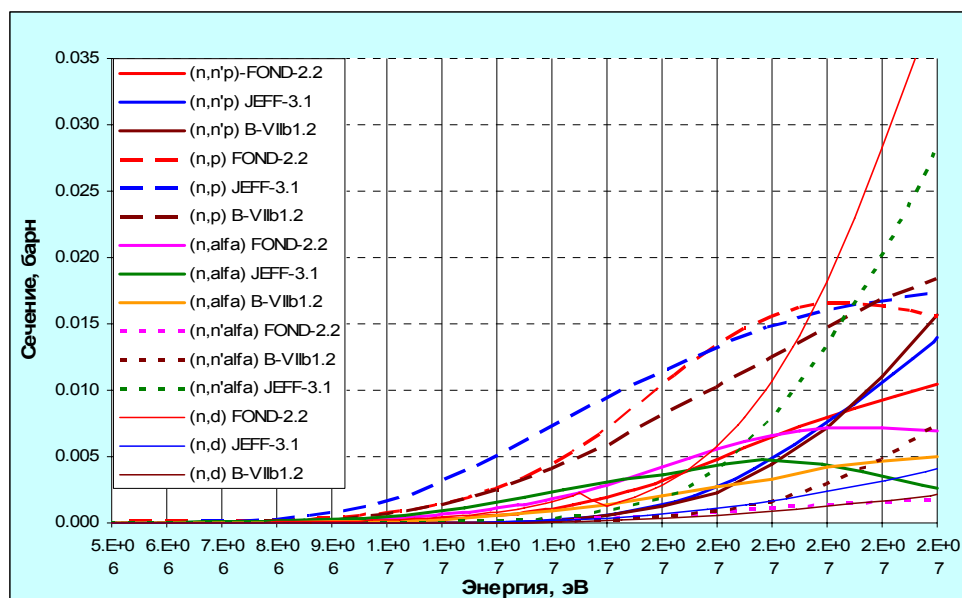


Рис.9

Заключение

В РОСФОНД принимается оценка Herman,Oblozinsky,Sarer,Mughabgh, 2005 (ENDF/B-VIIb1.2) с введением данных о сечении и энерго-угловых распределениях реакции (n,3n), полученных указанным выше образом.

Сечения основных реакций на интегральных спектрах приведены в нижеследующей таблице **жирным шрифтом** сравнении с данными, полученными на основе библиотеки ФОНД-2.2 (обычным синим шрифтом)

	Total	Elastic	Inelastic	(n,2n)	(n,3n)	(n, γ)	(n,p)	(n, α)
0.0253 эВ	49.60	6.53				43.07		
						42.98		
Резонансный интеграл	450.01	267.01	0.00			183.00		
						180.32		
Спектр деления ^{235}U	6.94	4.45	2.35	0.003		0.147	0.000	0.000
				0.004	0.000	0.226		
14 МэВ	5.12	2.59	0.58	1.939		0.001	0.006	0.001
				1.985	0.000	0.001	0.007	0.003

Автор отбора данных
Николаев М.Н.

66.4. Диспрозий-159

Испытывает позитронный распад в ^{159}Tb (стабильный) с периодом $T_{1/2}=144.4$ дн.

В ФОНД-2.2 – J.Kopecky, D.Nierop, 1992 (EAF-3).

В JEFF-3.1 (Activation) – оценка Forrest, Kopecky, Sublet, Koning, 2003.

В других библиотеках оцененные данные отсутствуют.

В последней оценке пересмотрены сечения всех реакций. Особенно велико изменение сечения радиационного захвата: при тепловой энергии оно возросло от 83.45 барн до 10368 барн (предположено наличие резонанса при 1 эВ – см. рис.10). Следует отметить, что увеличение сечения захвата происходило в 2 этапа: в версии библиотеки EAF-99 диспрозию-159 приписано сечение захвата, равное 8000 барн, но сечение, как и в предыдущей оценке, монотонно спадает с энергией. Характер различий в сечениях пороговых реакций при пересмотре оценки таков же, как и для предыдущих изотопов, и поэтому графики этих сечений для рассматриваемого радионуклида не приводятся.

Оценки содержит данные только о сечениях нейтронных реакций. Данные о полном сечении, о сечениях упругого и неупругого рассеяния и об энерго-угловых распределениях вторичных нейтронов отсутствуют.

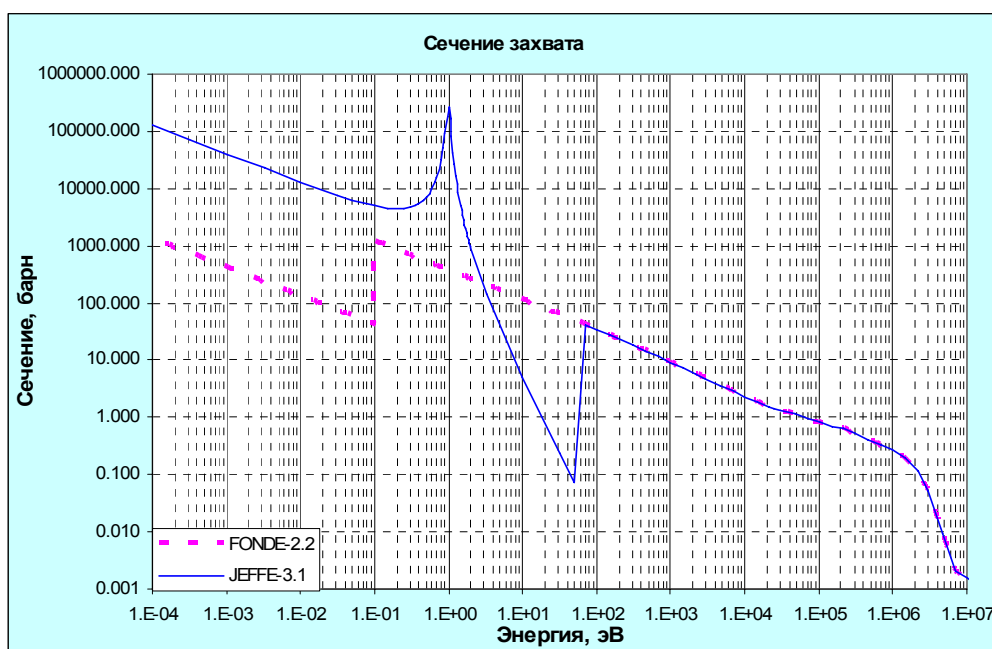


Рис.10.

Заключение

В РОСФОНД принимается оценка Forrest, Kopecky, Sublet, Koning, 2003 (JEFF-3.1).
Файлы MF=8 и MF=10 исключены. Изомеры, сечения которых приведены в файле MF=10, имеют периоды полураспада менее суток. Суммарные сечения реакций (n,d), (n,n'p) и (n,n't), просуммированные по подсекциям файла MF=10, включены в файл MF=3. Сечение захвата тепловых нейтронов - 10368 барн.

Автор отбора данных

Николаев М.Н.

66.5. Диспрозий-160

Содержание в естественной смеси 2.34%.

В ФОНД-2.2 – оценка R.E.Schenter and F.Schmittroth, 1974 (JEF-2).

В JEFF-3.1 (Activation) – оценка, Forrest, Kopecky, Sublet, Koning, 2003.

В JEFF-3.1 и в ENDF/B-VI.7 – та же оценка R.E.Schenter and F.Schmittroth, частично пересмотренная R.Q. Wright, 1998. Область разрешенных резонансов распространена до 169 эВ (было – 20.5 эВ).

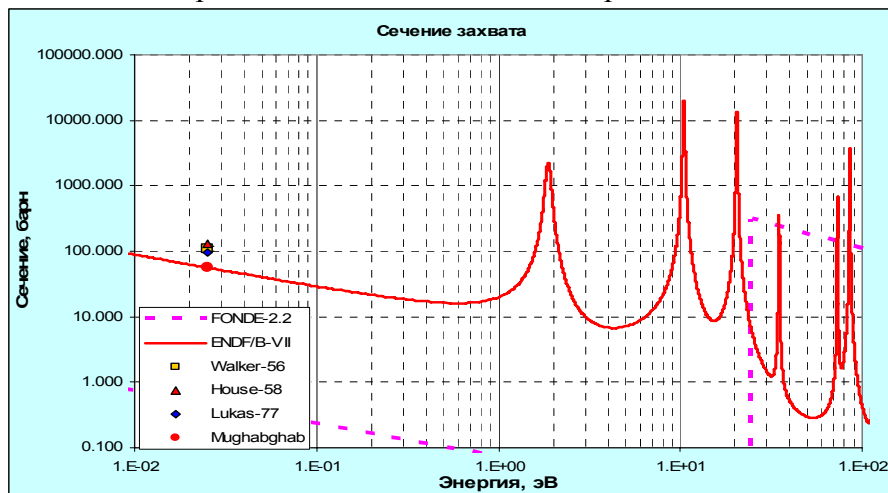
В ENDF/B-VII – оценка Lee,Oh,Mughabghab and Oblozinsky, 2003. Введены детальные данные об энерго-угловых распределениях продуктов нейтронных реакций. Область разрешенных резонансов распространена до 2008 эВ

В ENDF/B-VII.b1.2 - Kim,Herman,Oh,Oblozinsky, 2005. Введено описание реакций с вылетом заряженных частиц с возбуждением дискретных уровней ядра-продукта.

Оценка Форреста и др. содержит данные только о сечениях нейтронных реакций, однако набор этих реакций полон, в отличие от оценки Райта, в которой отсутствуют данные даже о сечениях реакций (n,2n) и (n,3n).

Оценка, принятая в ENDF/B-VII лишена недостатков предыдущих оценок: она достаточно полна как по номенклатуре описанных реакций, так и по номенклатуре представленных нейтронных данных. Энергетический ход сечений в ней описан максимально полно.

На рис. 11- 13 сравниваются сечения основных реакций из перечисленных оценок. В случае сечения захвата приведены и имеющиеся экспериментальные данные.



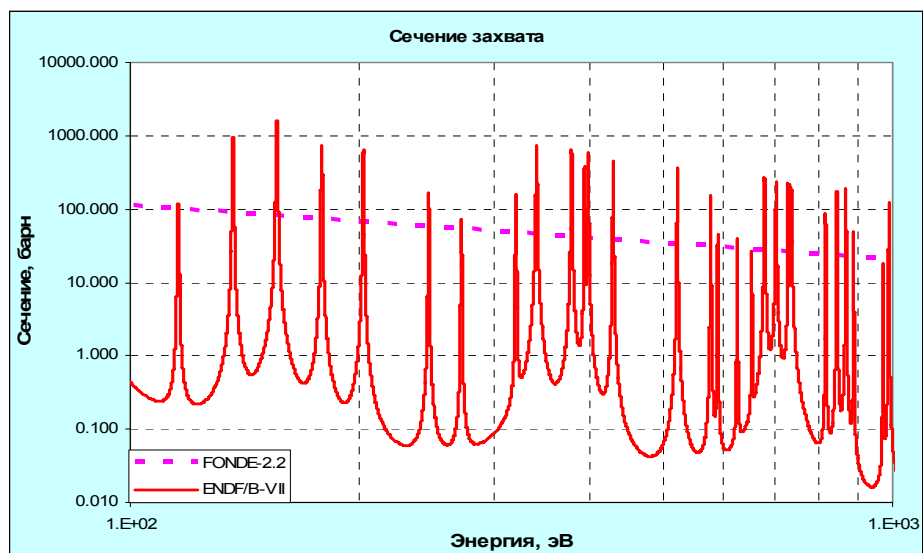


Рис.11б

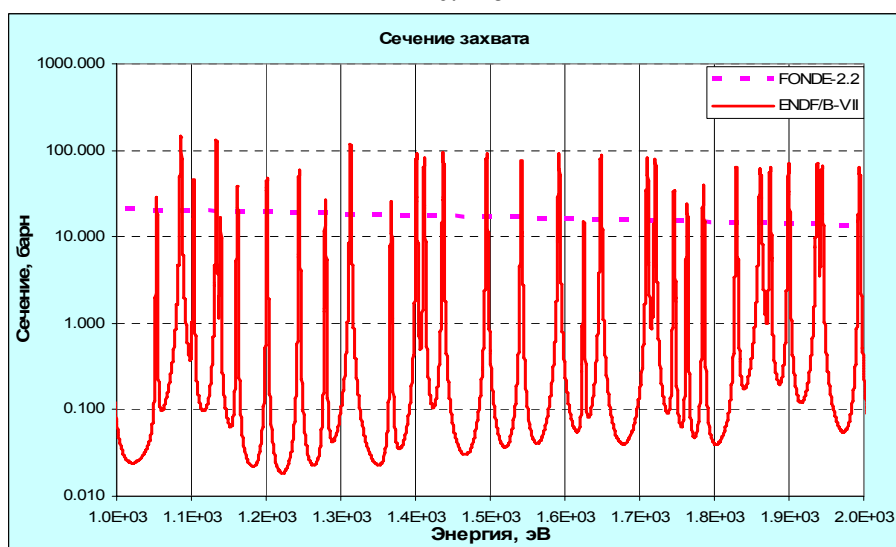


Рис.11в

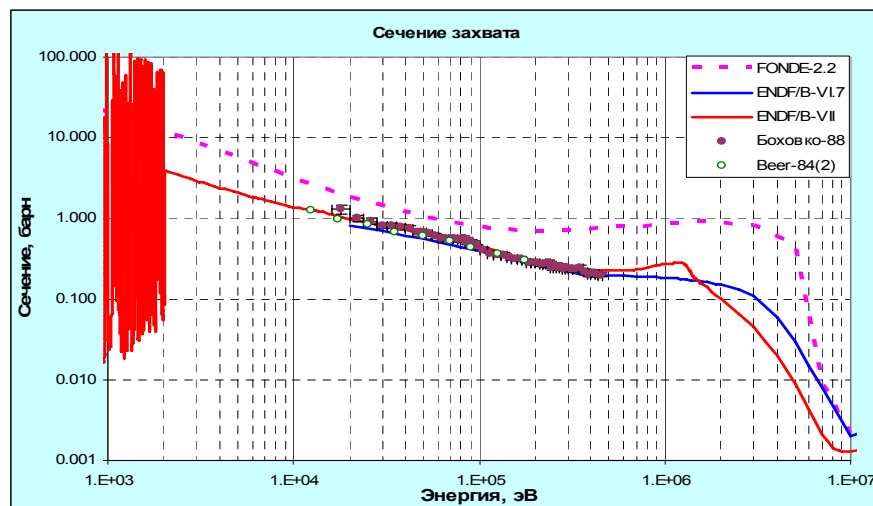


Рис.11д

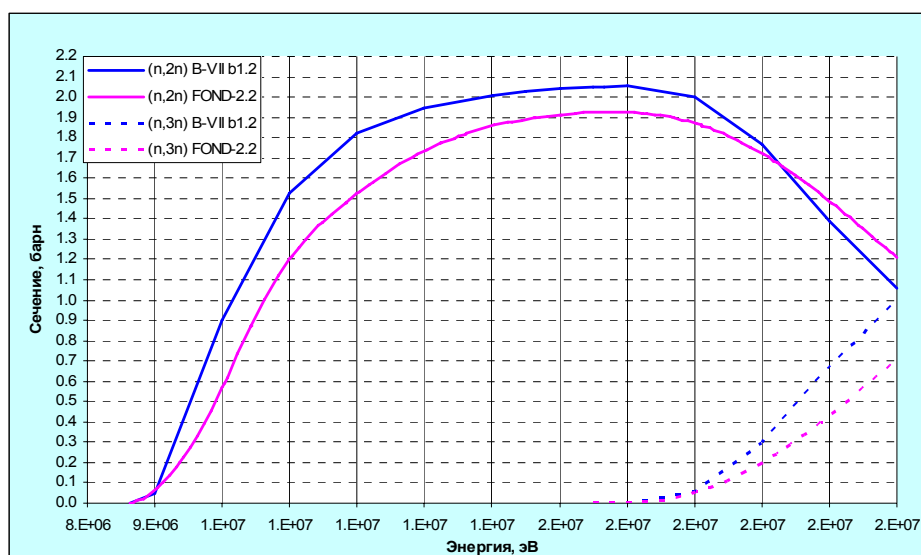


Рис.12

Заключение

В РОСФОНД принимается оценка Kim,Herman,Oh,Oblozinsky, 2005 (ENDF/B-VIIb1.2).

Сечения основных реакций на интегральных спектрах приведены в нижеследующей таблице **жирным шрифтом** сравнении с данными, полученными на основе библиотеки ФОНД-2.2 (обычным синим шрифтом)

	Total	Elastic	Inelastic	(n,2n)	(n,3n)	(n, γ)	(n,p)	(n, α)
0.0253 эВ	61.70	5.72				55.98		
	63.34	2.31				61.02		
Резонансный интеграл	1452.5	346.0				1106.5		
	2314.1	639.3	.004			1674.8		
Спектр деления ^{235}U	6.84	4.40	2.31	0.004	0.000	0.16	0.000	0.000
	6.46	4.66	1.02	0.003	0.000	0.77	0.000	0.000
14 МэВ	5.29	2.79	0.47	2.01	0.000	0.001	.006	.003
	6.62	3.66	1.09	1.86	0.000	0.003	.006	0.002

Автор отбора данных

Николаев М.Н.

66.6. Диспрозий-161

Содержание в естественной смеси 18.9%.

В ФОНД-2.2 – оценка R.E.Schenter and F.Schmittroth, 1974 (JEF-2) с пересмотренными в 1999г. В.Н.Манохиным данными по сечениям реакций $(n,2n)$ и $(n,3n)$ и включением данных по реакциям (n,p) и (n,α) из ADL-3.

В JEFF-3.1 и в ENDF/B-VI.7 – та же оценка, частично пересмотренная R.Q. Wright, 1998. Область разрешенных резонансов распространена до 996 эВ (было – 676 эВ).

В ENDF/B-VII – оценка Lee,Oh,Mughabghab and Oblozinsky, 2003. Введены детальные данные об энерго-угловых распределениях продуктов нейтронных реакций.

В ENDF/B-VII.b1.2 - Kim,Herman,Oh,Oblozinsky, 2005. Введено описание реакций с вылетом заряженных частиц с возбуждением дискретных уровней ядра-продукта.

На рис. 11- 13 сравниваются сечения основных реакций из перечисленных оценок. В случае сечения захвата приведены и имеющиеся экспериментальные данные.

Как видно, наиболее существенным изменением является продление области разрешенных резонансов до 1 кэВ. Выше этой границы принятые сечения захвата надежно подтверждены экспериментальными данными.

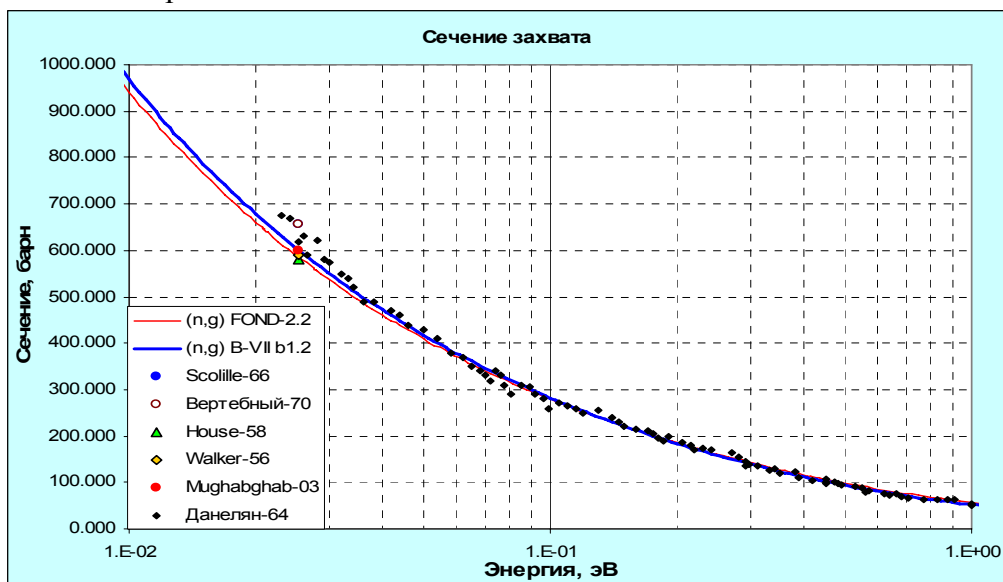


Рис.13а

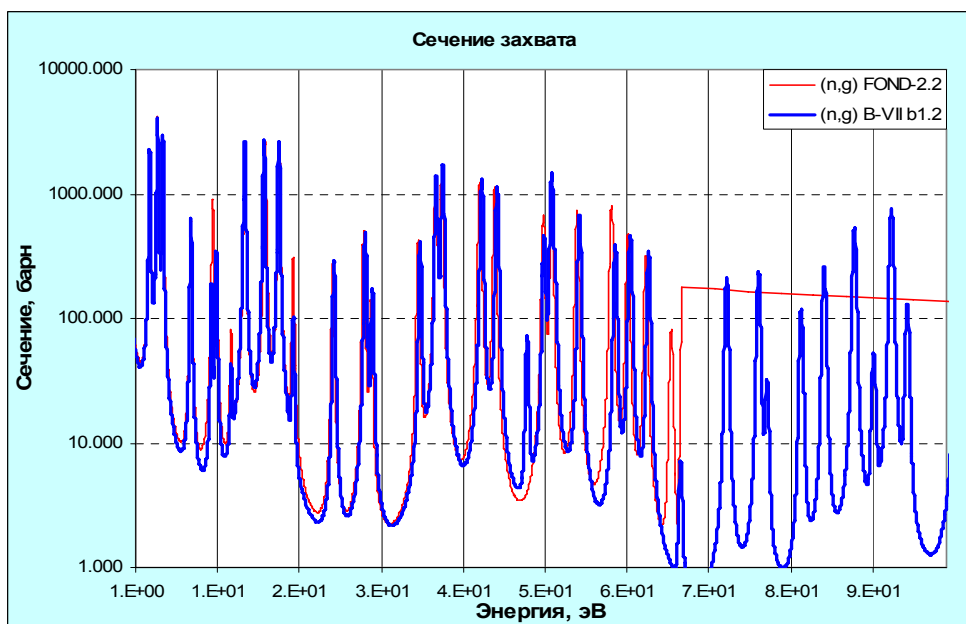


Рис.13б

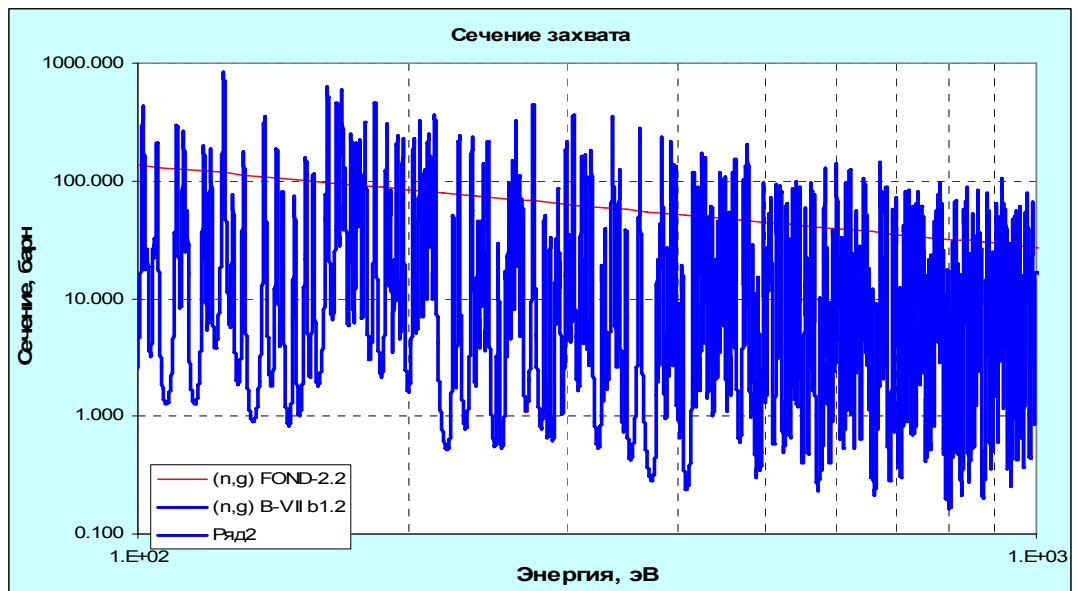


Рис.13в

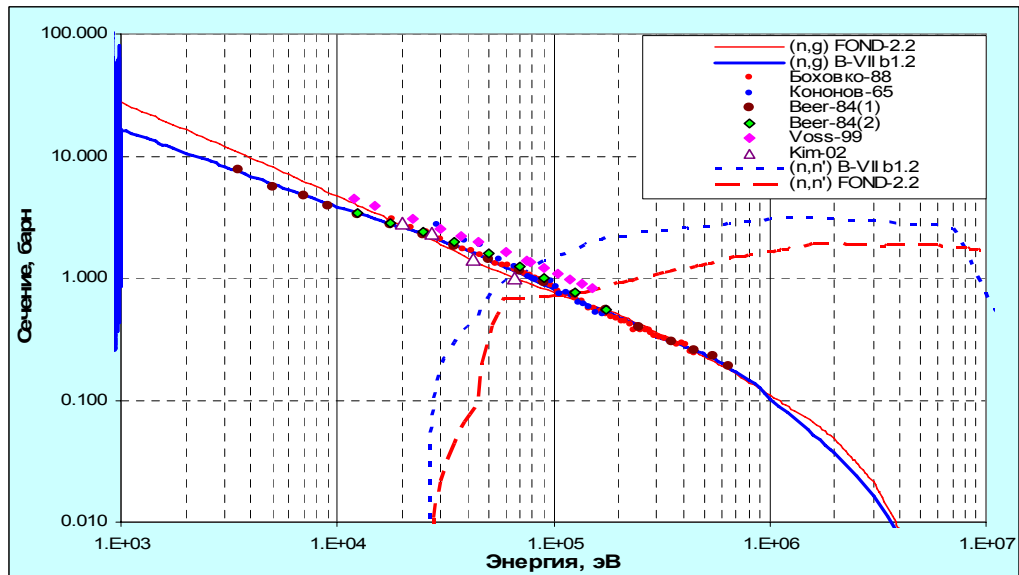


Рис.13г.

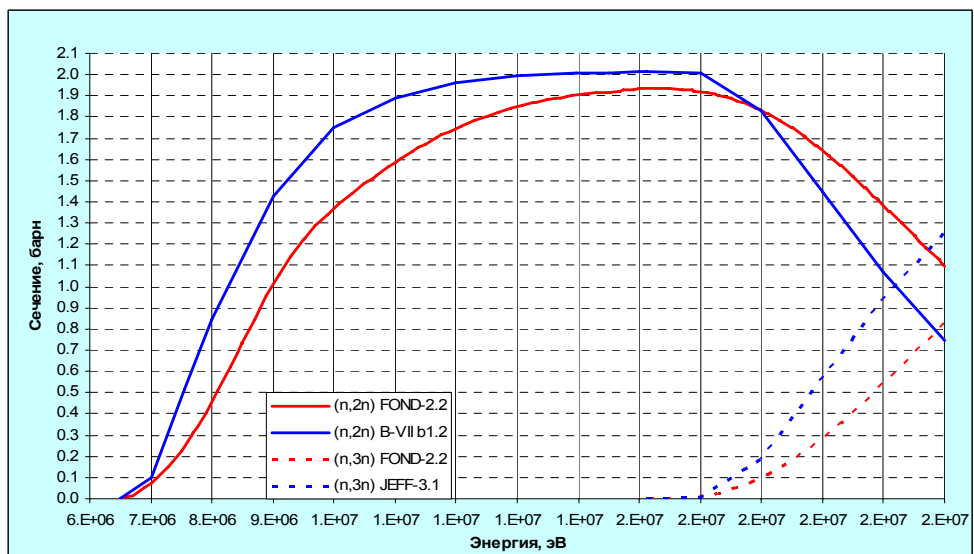


Рис.14

Заключение

В РОСФОНД принимается оценка Kim,Herman,Oh,Oblozinsky, 2005 (ENDF/B-VIIb1.2).

Сечения основных реакций на интегральных спектрах приведены в нижеследующей таблице **жирным шрифтом** сравнении с данными, полученными на основе библиотеки ФОНД-2.2 (обычным синим шрифтом)

	Total	Elastic	Inelastic	(n,2n)	(n,3n)	(n, γ)	(n,p)	(n, α)
0.0253 эВ	617.64	17.53				600.11		
	608.83	23.80				585.02		
Резонансный интеграл	1236.36	160.51	0.97			1074.87		
	1556.54	340.09	0.49			1215.96		
Спектр деления ^{235}U	7.11	4.13	2.84	0.01	0.000	0.120		
	6.48	4.68	1.67	0.01	0.000	0.126		
14 МэВ	5.27	2.90	0.36	2.01	0.000	0.00	0.006	0.003
	6.67	3.28	1.47	1.90	0.000	0.003	0.004	0.002

Автор отбора данных

Николаев М.Н.

66.7. Диспрозий-162

Содержание в естественной смеси 25.5%.

В ФОНД-2.2 – оценка R.E.Schenter and F.Schmittroth, 1974 (JEF-2) с пересмотренными в 1999г. В.Н.Манохиным данными по сечениям реакций (n,2n) и (n,3n) и включением данных по реакциям (n,p) и (n, α) из ADL-3.

В JEFF-3.1 и в ENDF/B-VI.7 – та же оценка, частично пересмотренная R.Q. Wright, 1998. Область разрешенных резонансов распространена до 1220 эВ (было – до 430 эВ)

В ENDF/B-VII – оценка Lee,Oh,Mughabghab and Oblozinsky, 2003, в которой даны детальные энерго-угловые распределения продуктов нейтронных реакций. Область разрешенных резонансов распространена до 4848 эВ.

В ENDF/B-VII.b1.2 - Kim,Herman,Oh,Oblozinsky, 2005, отличающаяся от предыдущей, главным образом, более детальным описанием спектров дискретных состояний ядер-продуктов.

На рис. 15- 16 сравниваются сечения основных реакций из основных оценок. В случае сечения захвата приведены и имеющиеся экспериментальные данные.

Как видно, наиболее существенным изменением является продление области разрешенных резонансов до 1 кэВ. Выше этой границы принятые сечения захвата надежно подтверждены экспериментальными данными.

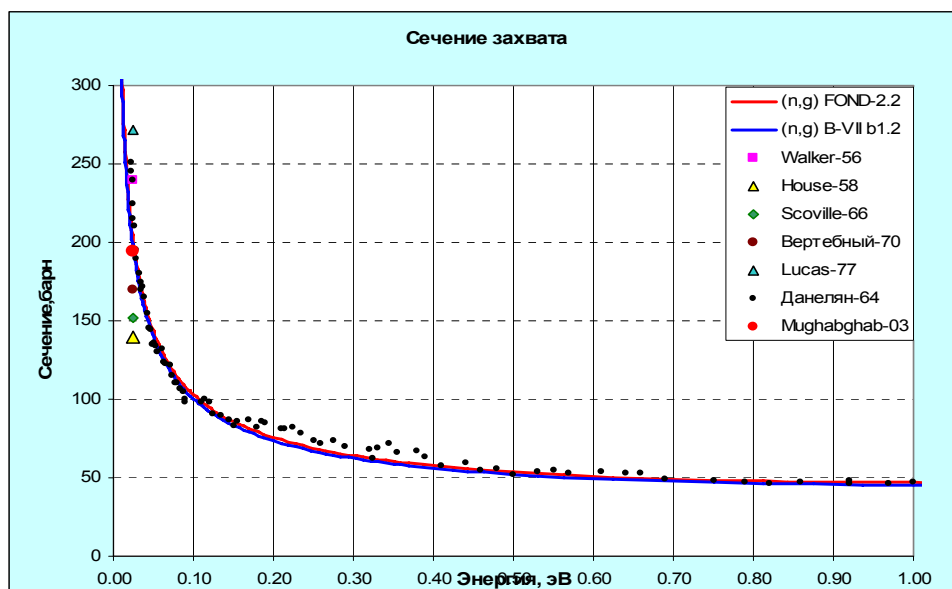


Рис.15а

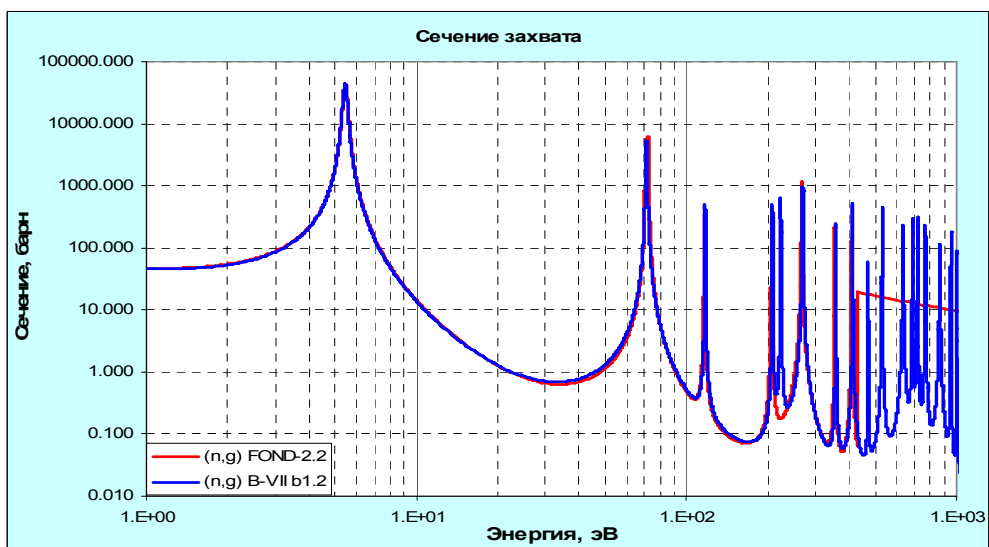


Рис.15б

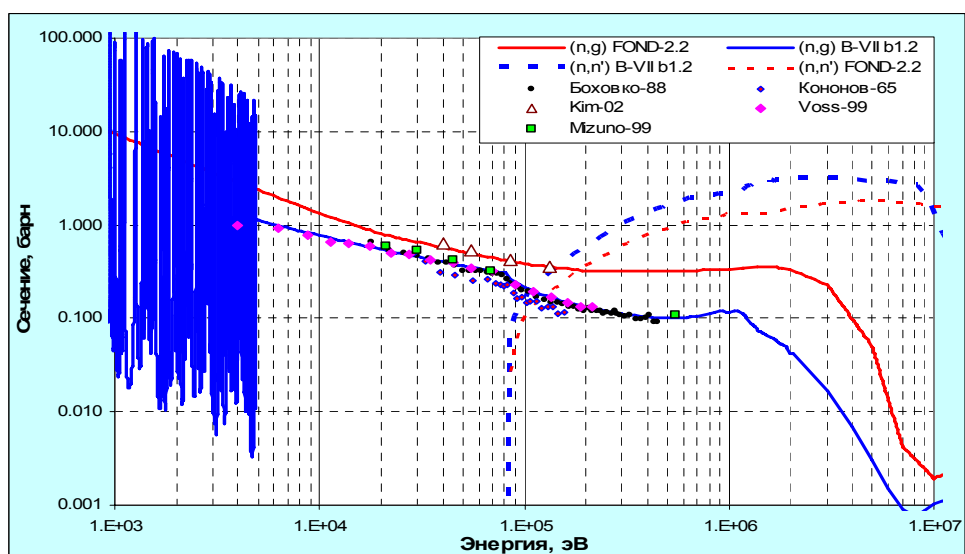


Рис.15в.

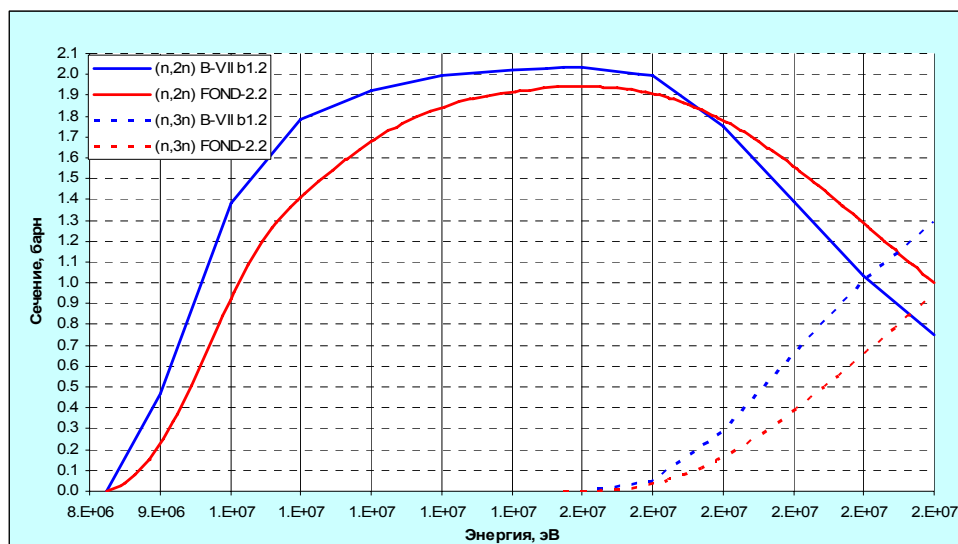


Рис.16
Заключение

В РОСФОНД принимается оценка Kim,Herman,Oh,Oblozinsky, 2005 (ENDF/B-VIIb1.2).

Сечения основных реакций на интегральных спектрах приведены в нижеследующей таблице **жирным шрифтом** сравнении с данными, полученными на основе библиотеки ФОНД-2.2 (обычным синим шрифтом)

	Total	Elastic	Inelastic	(n,2n)	(n,3n)	(n, γ)	(n,p)	(n, α)
0.0253 эВ	199.39 194.11	0.23 0.17				199.16 193.94		
Резонансный интеграл	3477.96 3519.26	693.77 763.02	0.01 0.02			2784.18 2756.22		
Спектр деления ^{235}U	6.49 7.04	4.86 4.46	1.35 2.50	0.00 0.01	0.000 0.000	0.279 0.069	0.000 0.000	0.000 0.000
14 МэВ	6.68 5.31	3.33 2.82	1.43 0.47	1.91 2.02	0.000 0.000	0.003 0.001	0.003 0.003	0.001 0.001

Автор отбора данных

Николаев М.Н.

66.8. Диспрозий-163

Содержание в естественной смеси 24.9%.

В ФОНД-2.2 – оценка R.E.Schenter and F.Schmittroth, 1974 (JEF-2) с пересмотренными в 1999г. В.Н.Манохиным данными по сечениям реакций (n,2n) и (n,3n) и включением данных по реакциям (n,p) и (n, α) из ADL-3.

В JEFF-3.1 и в ENDF/B-VI.7 – та же оценка, частично пересмотренная R.Q. Wright, 1998. Область разрешенных резонансов расширена до 1000 эВ (ранее – до 487.6 эВ). Как и в предыдущей оценке, энергия первого возбужденного состояния ^{163}Dy принята равной 25 кэВ (как у ^{161}Dy)

В ENDF/B-VII – оценка Lee,Oh,Mughabghab and Oblozinsky, 2003, в которой даны детальные энерго-угловые распределения продуктов нейтронных реакций. Энергии первого уровня присвоено правильное значение -73.44 кэВ.

В ENDF/B-VII.b1.2 - Kim,Herman,Oh,Oblozinsky, 2005, отличающаяся от предыдущей, главным образом, более детальным описанием спектров дискретных состояний ядер-продуктов.

На рис. 17- 18 сравниваются сечения основных реакций из основных оценок. В случае сечения захвата приведены и имеющиеся экспериментальные данные.

Как видно из рис. 17, наиболее существенным изменением является продление области разрешенных резонансов до 1 кэВ. Выше этой границы принятые сечения захвата надежно подтверждены экспериментальными данными.

Рис. 18 показывает влияние уточнения энергии первого уровня ^{163}Dy .

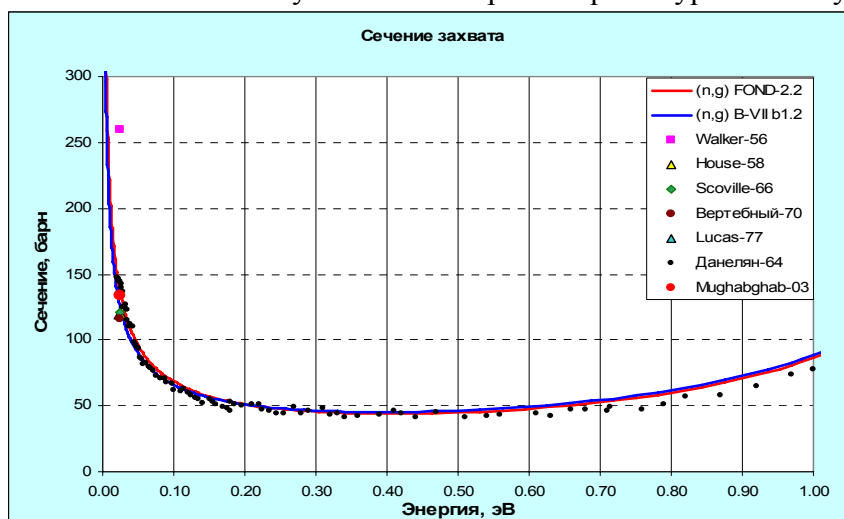


Рис.17а

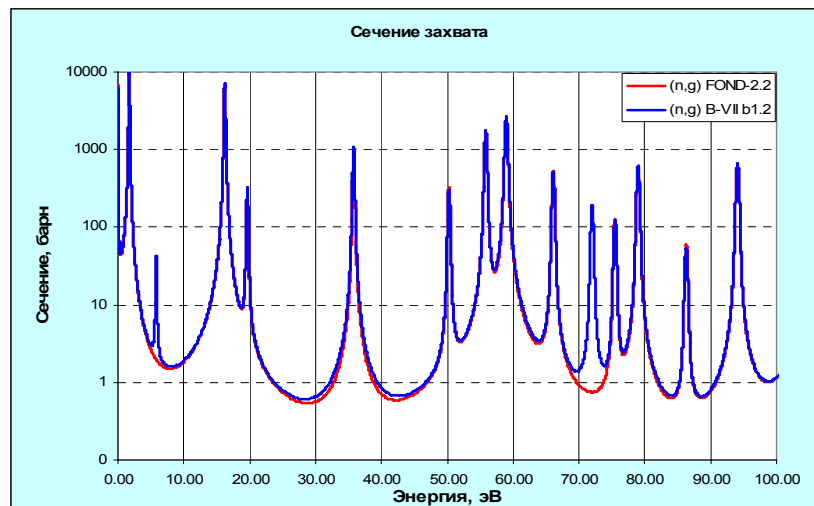


Рис.17б

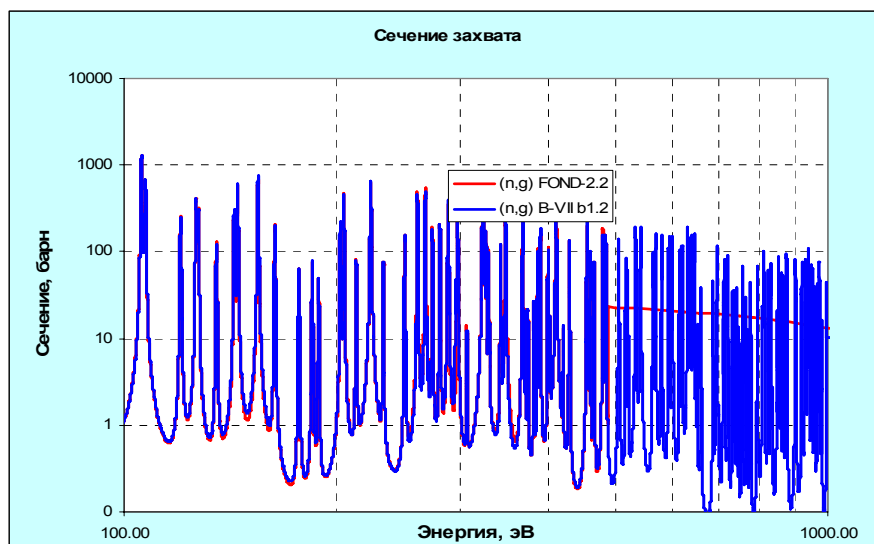


Рис.17в

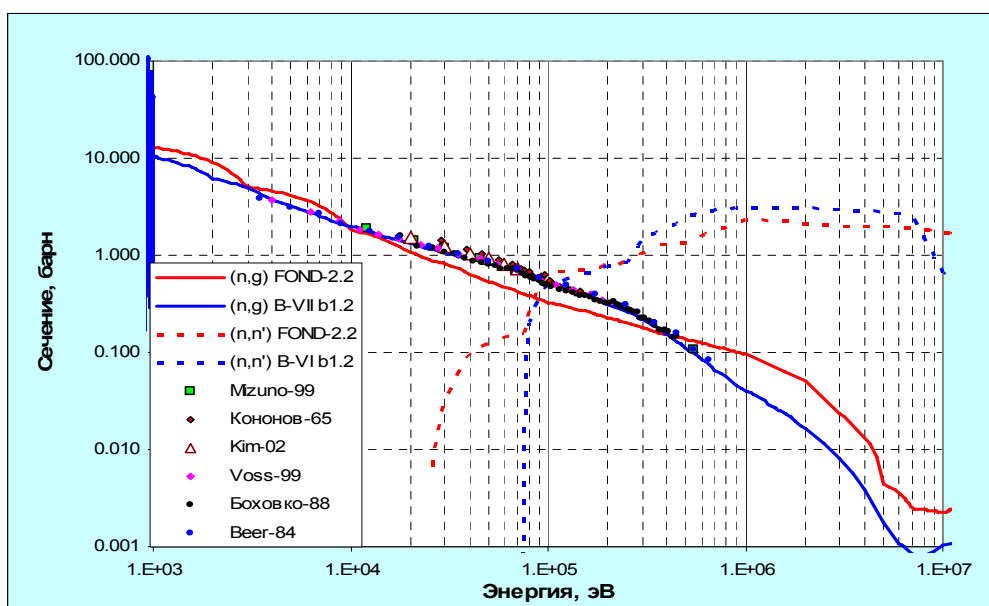


Рис.17г.

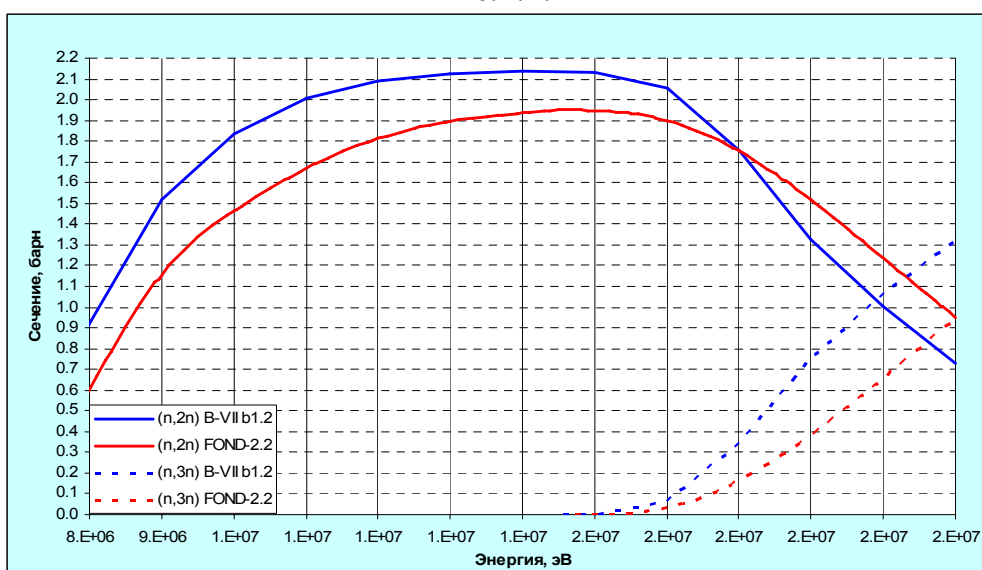


Рис.18

Заключение

В РОСФОНД принимается оценка Kim,Herman,Oh,Oblozinsky, 2005 (ENDF/B-VII b1.2).

Сечения основных реакций на интегральных спектрах приведены в нижеследующей таблице **жирным шрифтом** сравнении с данными, полученными на основе библиотеки ФОНД-2.2 (обычным синим шрифтом)

	Total	Elastic	Inelastic	(n,2n)	(n,3n)	(n, γ)	(n,p)	(n, α)
0.0253 эВ	126.68	3.28	0.00	0.000	0.000	123.41	0.000	0.000
	136.74	2.33	0.00	0.000	0.000	134.40	0.000	0.000
Резонансный интеграл	1719.65	231.10	0.09	0.000	0.000	1488.47	0.000	0.000
	1793.11	323.02	0.22	0.000	0.000	1469.87	0.000	0.000
Спектр деления ^{235}U	7.09	4.27	2.74	0.018	0.000	0.064	0.000	0.000
	6.54	4.55	1.90	0.012	0.000	0.083	0.000	0.000
14 МэВ	5.33	2.93	0.36	2.03	0.000	0.001	0.003	0.002
	6.70	3.23	1.53	1.93	0.000	0.003	0.003	0.002

Автор отбора данных

Николаев М.Н.

66.9. Диспрозий-164

Содержание в естественной смеси 28.2%.

В ФОНД-2.2 – оценка R.B.Leonard and R.B.Stewart, 1967 (JEF-2=ENDF/B-IV) с пересмотренными в 1999г. В.Н.Манохиным данными по сечениям реакций (n,2n) и (n,3n) и включением данных по реакциям (n,p) и (n, α) из ADL-3. Область разрешенных резонансов включала параметры только двух резонансов и простиралась от 2.23 эВ до 273 эВ.

В JEFF-3.1 и в ENDF/B-VI.7 – та же оценка, основательно пересмотренная R.Q. Wright, 1998. Область разрешенных резонансов расширена до 19 кэВ и включает данные для 114 резонансов, рекомендованных Мухабхабом. Область неразрешенных резонансов простирается до 50 кэВ.

В ENDF/B-VII – оценка Lee,Oh,Mughabghab and Oblozinsky, 2003, в которой даны детальные энерго-угловые распределения продуктов нейтронных реакций. Область разрешенных резонансов сужена: ее граница 7 кэВ. Область неразрешенных резонансов расширена до 73 кэВ т.е. до порога неупругого рассеяния.

В ENDF/B-VII.b1.2 - Kim,Herman,Oh,Oblozinsky, 2005, отличающаяся от предыдущей, главным образом, более детальным описанием спектров дискретных состояний ядер-продуктов.

Учитывая, что автором последних оценок являлся сам Мухабхаб, можно полагать, основания для ограничения области разрешенных резонансов имелись. В самом деле, в последней оценке в области разрешенных резонансов лежит 42 s-резонанса и 28 p-резонансов (с максимальной энергией 4.916 кэВ) – практически столько же, сколько и в предыдущей оценке в этой области энергий. В интервале от 4.9 до 7 кэВ p-резонансы не разрешены. В интервале от 7 до 21 кэВ в оценкт Райта лежит почти столько же s-резонансов, сколько и до 7 кэВ (p-резонансы, естественно, отсутствуют). Таким образом в этом интервале пропущены не только все p-резонансы, но и, по крайней мере, половина s-резонансов. Целесообразность описания сечений в этом интервале средними резонансными параметрами очевидна.

На рис. 19- 20 сравниваются сечения основных реакций из основных оценок. В случае сечения захвата приведены и имеющиеся экспериментальные данные.

Как видно из рис. 19в, наиболее существенным изменением является продление области разрешенных резонансов до 7 кэВ. Выше этой границы принятые сечения захвата находят подтверждение в новейших экспериментальных данных.

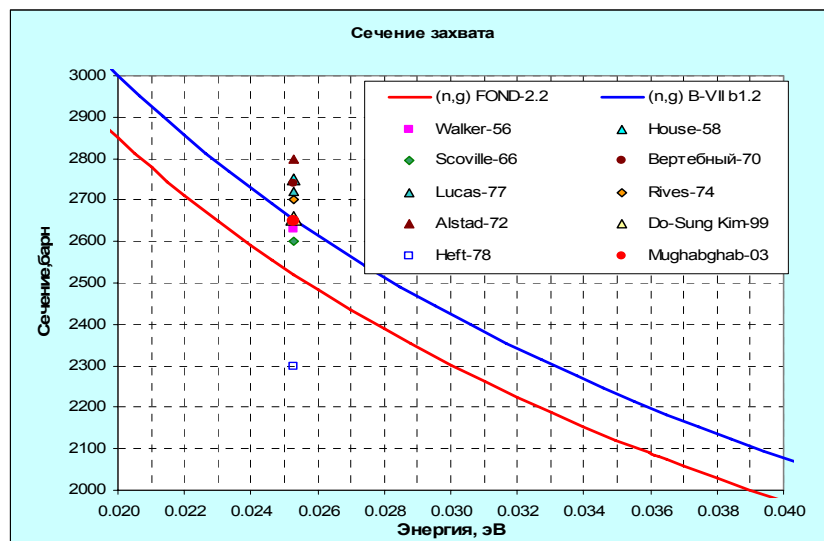


Рис.19а

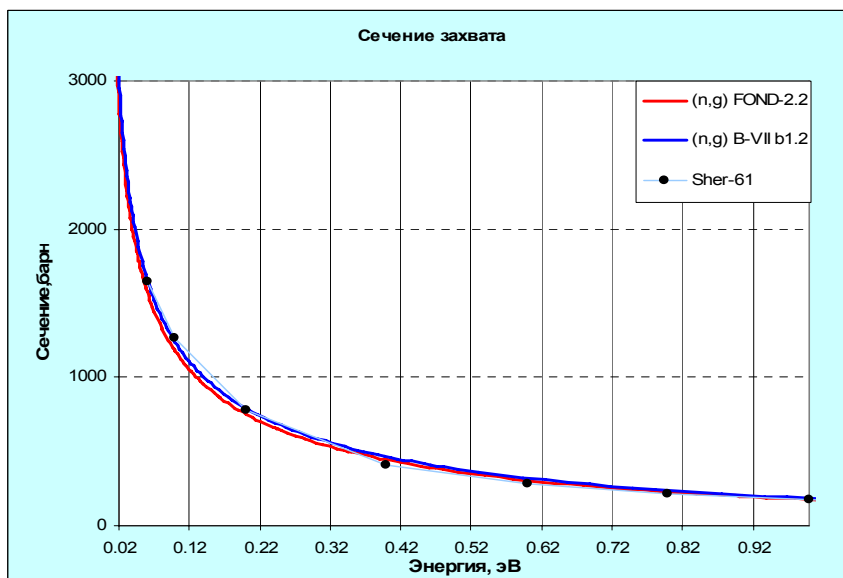


Рис.19б

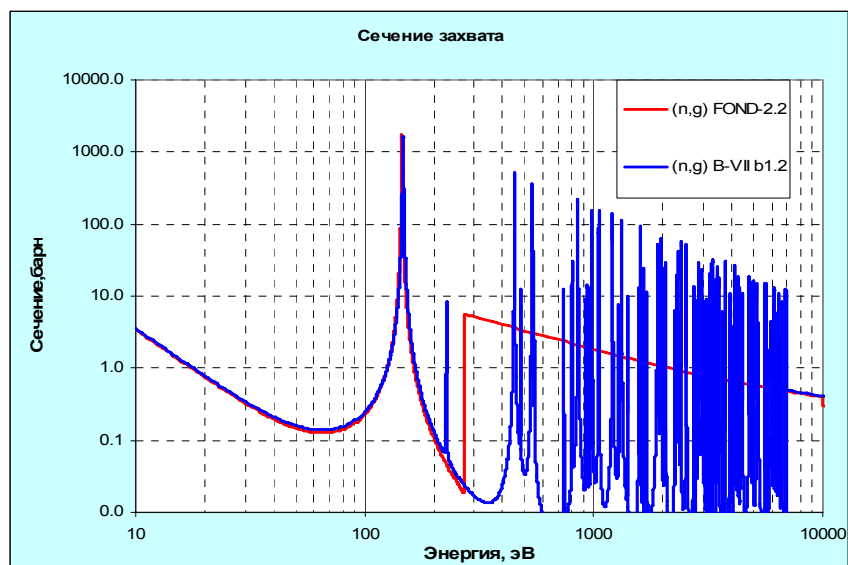


Рис.17в

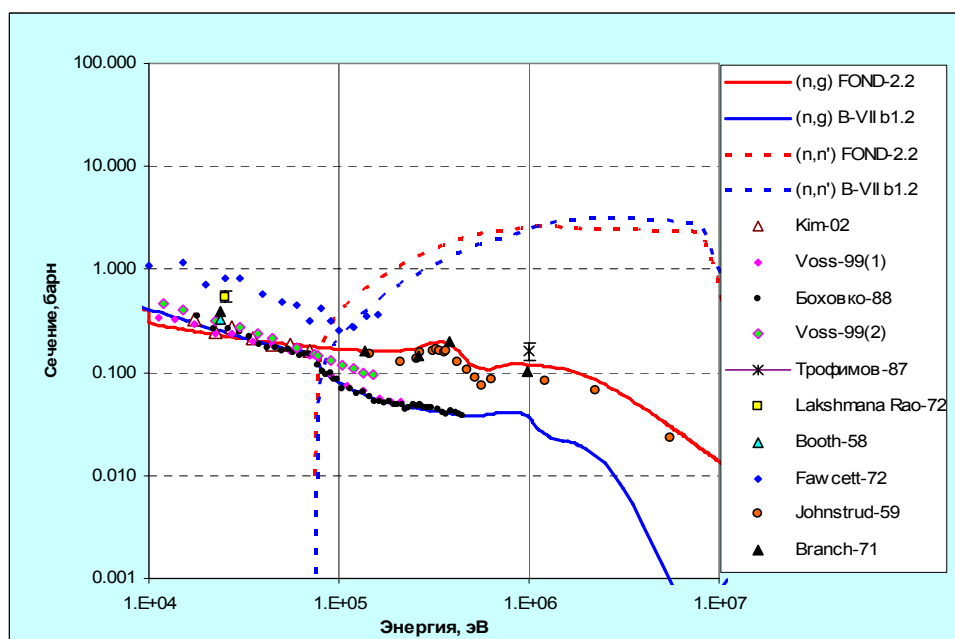


Рис.19г.

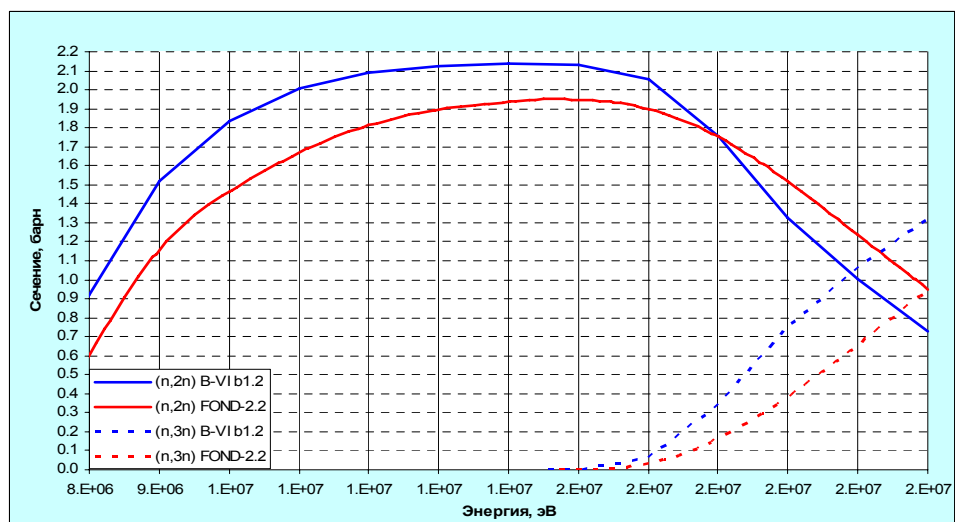


Рис.20

Заключение

В РОСФОНД принимается оценка Kim,Herman,Oh,Oblozinsky, 2005 (ENDF/B-VII b1.2).

Сечения основных реакций на интегральных спектрах приведены в нижеследующей таблице **жирным шрифтом** сравнении с данными, полученными на основе библиотеки ФОНД-2.2 (обычным синим шрифтом)

	Total	Elastic	Inelastic	(n,2n)	(n,3n)	(n, γ)	(n,p)	(n, α)
0.0253 эВ	2981.17	328.36				2652.80		
	2909.57	390.04				2519.53		
Резонансный интеграл	889.93	547.00	0.038			342.89		
	994.89	666.61	0.069			328.21		
Спектр деления ^{235}U	7.08	4.51	2.54	0.008	0.000	0.025	0.000	0.000
	6.75	4.34	2.30	0.006	0.000	0.099	0.000	0.000
14 МэВ	5.32	2.81	0.48	2.029	0.000	0.001	0.002	0.001
	5.26	3.25	0.040	1.956	0.000	0.009	0.002	0.001

Автор отбора данных

Николаев М.Н.

66.10. Диспрозий-165

Короткоживущий изотоп: испытывает бета-распад в стабильный гольмий-165 ($T_{1/2}=2.35$ ч.). Поскольку этот изотоп нарабатывается в результате поглощения нейтронов в диспрозии-164 и обладает весьма высоким сечением поглощения тепловых нейтронов, нейтронные данные для него включены в РОСФОНД.

В ФОНД-2.2 содержалась оценка Копецкого и Ниеропа из EAF=3.

В JEFF-3.1 содержится оценка Forrest, Kopecky, Sublet, Koning (EAF-2003).

Основное отличие последней оценки состоит в введении низколежащего резонанса, резко увеличившего резонансный интеграл (с 1277 барн до 20181 барна). При этом сечение захвата нейтронов с энергией 0.0253 эВ практически сохранилось (с 3600 барн снизилось до 3573 барн). Изменения иллюстрируются нижеследующим рисунком.

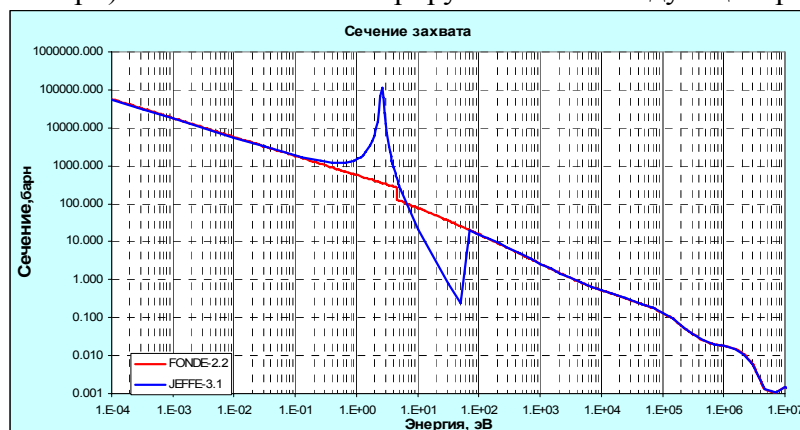


Рис.21

Заключение

В РОСФОНД принимается оценка Forrest, Kopecky, Sublet, Koning (JEFF-3.1=EAF-2003).

Автор отбора данных

Николаев М.Н.

66.11. Диспрозий-166

^{166}Dy испытывает бета-распад ($T_{1/2}=81.5$ ч.) в основное состояние гольмия-166 ($T_{1/2}=26.80$ ч.; распадается в стабильный эрбий-166).

В ФОНД-2.2 содержалась оценка Копецкого и Ниеропа из EAF=3.

В JEFF-3.1 содержится оценка Forrest, Кореcky, Sublet, Koning (EAF-2003).

Наиболее существенным изменением является перенос данных о сечении реакции (n,2n) в файл MF=10, где даны сечения образования диспрозия-165 в основном и в метастабильном ($T_{1/2}=1.5$ мин.) состояниях. Поскольку образующийся изомер слишком короткоживущий, данные следует снова перенести в файл MF=3 и в таком виде включать его в РОСФОНД.

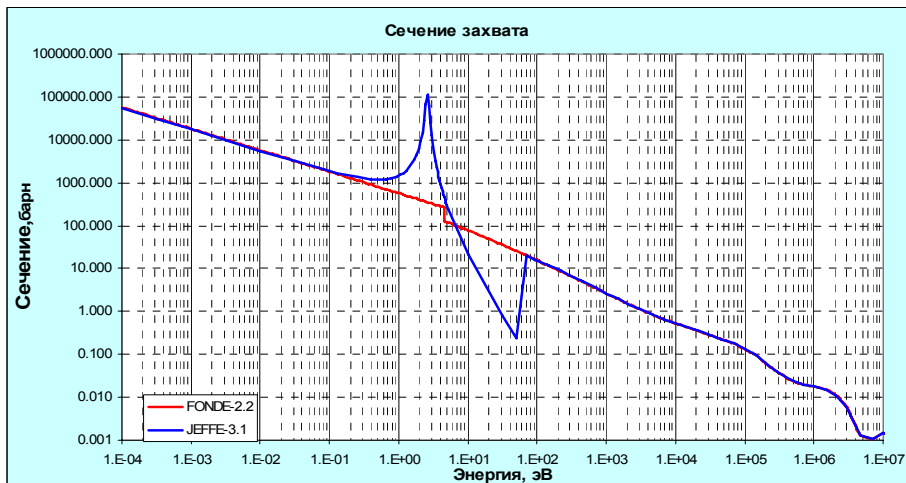


Рис.21

Заключение

В РОСФОНД принимается оценка Копецкого и Ниеропа (EAF-2003) с включением сечения реакции (n,2n) в файл MF=3 и с исключением файлов MF=8 и MF=10. Материалу присвоен МАТ=6666.

Автор отбора данных

Николаев М.Н.

66.12. Диспрозий природный

Включать в РОСФОНД файл данных для натурального диспрозия не предполагается. Задача настоящего параграфа состоит в валидации принятых в РОСФОНД оцененных нейтронных данных для стабильных изотопов диспрозия путем сравнения следующих из этих оценок нейтронных сечений для натурального диспрозия с результатами непосредственных измерений.

С этой целью на основе оцененных нейтронных данных, принятых в РОСФОНД, были рассчитаны 299-групповые константы для каждого стабильного изотопа, которые затем были свернуты с весом концентраций изотопов в естественной смеси в 299-групповые константы для природного диспрозия. Полученные таким образом 299-групповые сечения ниже сравниваются с имеющимися для природного диспрозия экспериментальными данными.

Полное сечение

На рис. 22 сравниваются с экспериментальными данными оцененные полные сечения натурального диспрозия.

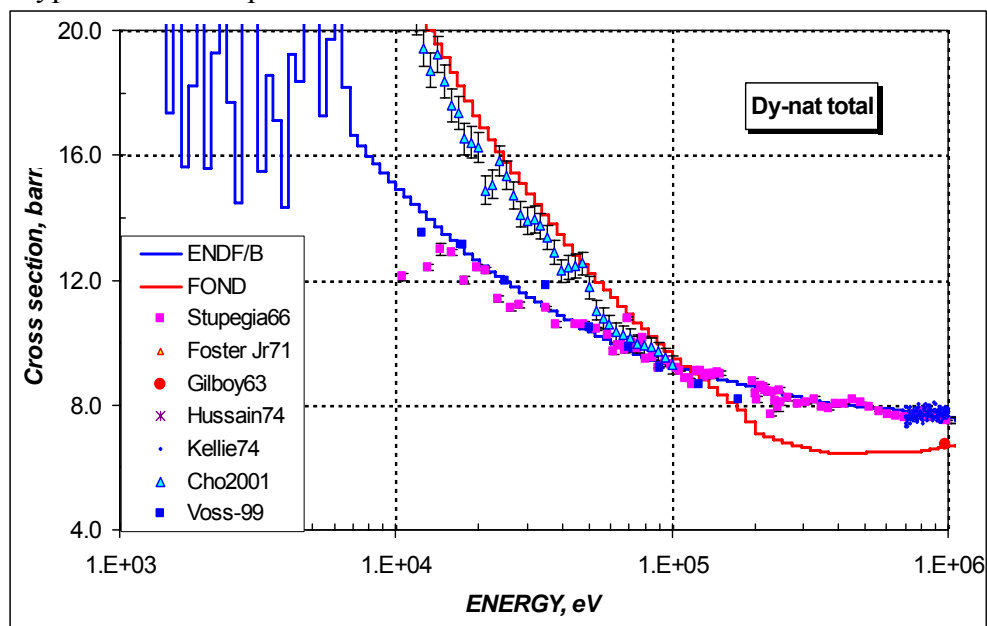


Рис.22а. Полное сечение натурального диспрозия

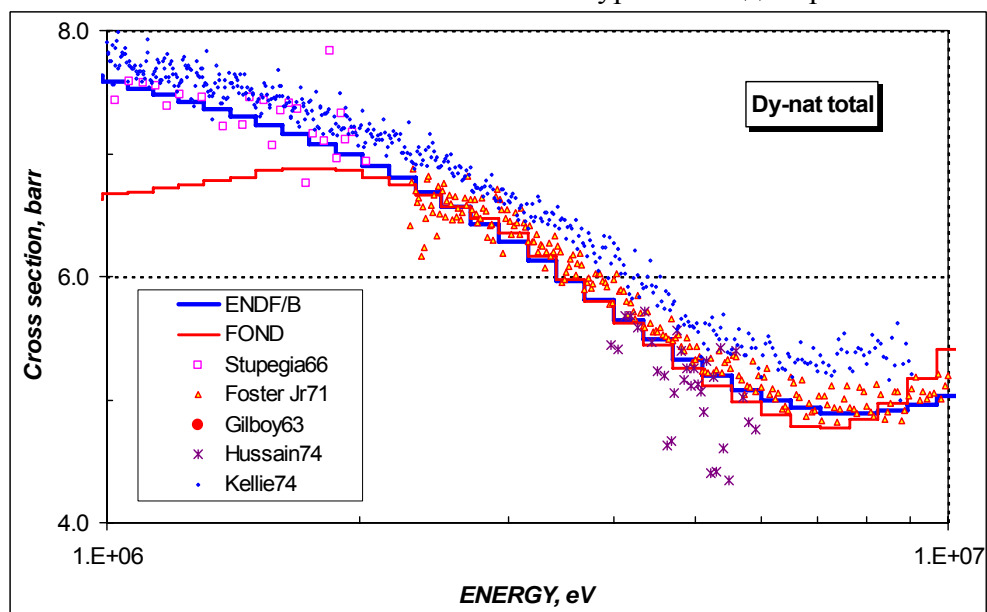


Рис.22б. Полное сечение натурального диспрозия

Обращает на себя внимание существенное различие прежней и новой оценок при энергиях ниже 2 МэВ. В интервале от 0.1МэВ до 2 МэВ прежняя оценка противоречит согласующимся друг с другом экспериментальным данным Stupегia (1966) и Kellie (1974), тогда как новая неплохо с ними согласуется. Однако в области 10-100 кэВ. Имеющиеся экспериментальные данные противоречивы: новая оценка в этой области опирается на данные Stupегia, согласующимися с более поздними данными Voss³ (1975), тогда как прежняя оценка подтверждается данными Cho (2001), полученными много позже выполнения оценки.

Вклады различных изотопов в полное сечение в интервале 10 – 100 кэВ практически не зависят от энергии и составляют:

- ^{164}Dy – 28%;
- ^{163}Dy – 25%;
- ^{162}Dy – 26%;
- ^{161}Dy 18%
- ^{160}Dy , ^{158}Dy и ^{156}Dy в сумме – 3%.

Как видим, эти вклады близки друг к другу для всех изотопов, кроме легчайших. Поскольку при выборе оценок для РОСФОНДа на полные сечения изотопов в этой области энергий внимания не обращалось, сравним принятые для основных изотопов полные сечения с имеющимися для них экспериментальными данными на групповом уровне.

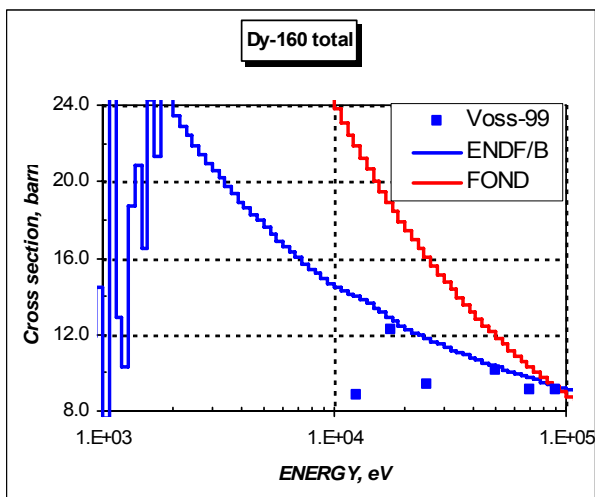


Рис.23а. Полное сечение диспрозия-160

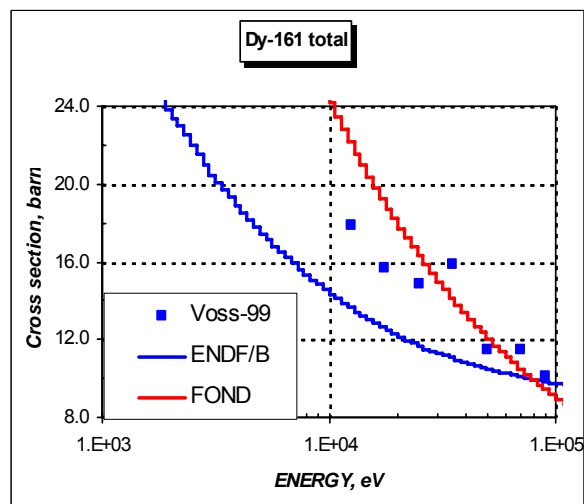


Рис.23б. Полное сечение диспрозия-161

³ Приведенные на рис. 22 данные Voss'а получены путем суммирования измеренных в этой работе полных сечений всех стабильных изотопов.

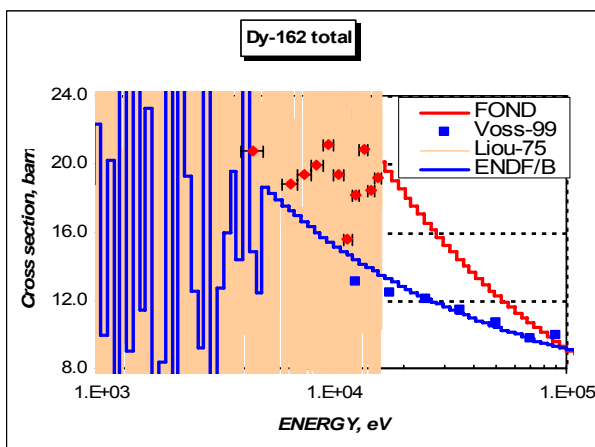


Рис.23в. Полное сечение диспрозия-162

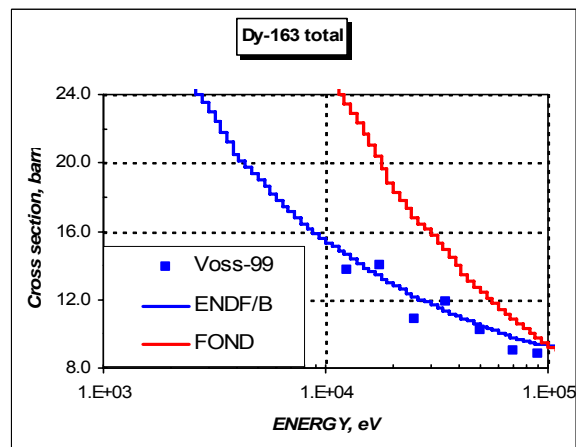


Рис.23г. Полное сечение диспрозия-163

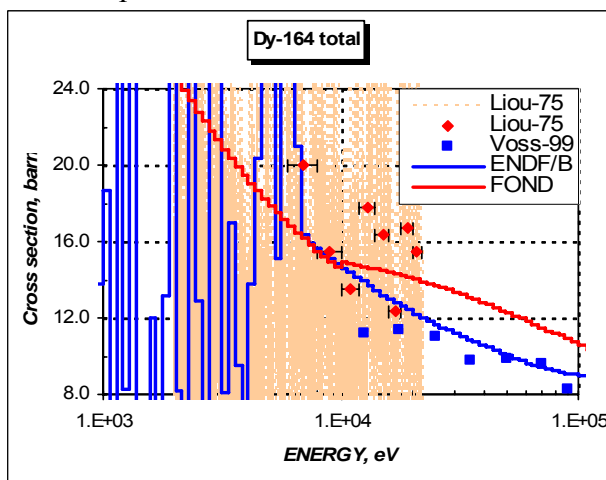


Рис. 23д. Полное сечение диспрозия-160.

Как видно из приведенных рисунков, принятые в РОСФОНД оцененные данные по полным сечениям изотопов, в целом, подтверждаются результатами измерений Voss (1999). Наибольшее расхождение с результатами этого эксперимента наблюдается для ^{161}Dy , где оно при 10 кэВ достигает 4 барн. Поскольку вклад этого изотопа в полное сечение составляет всего 18%, устранение этого расхождения путем переоценки полного сечения ^{161}Dy , не устранил расхождение между оцененными данными для полного сечения природного диспрозия и результатами Cho.

Для ^{162}Dy и ^{164}Dy в рассматриваемой области энергий имеются также детальные данные Liou (1975), которые на рис.24 изображены как тонкими линиями, так и точками, полученными путем усреднения измерений с высоким разрешением по интервалам, отмеченным на этих точках. Результаты Liou лежат примерно, на 3 барна выше оцененных кривых (вблизи 10 кэВ). Согласование оцененных данных с этими результатами приблизит оцененные значения полного сечения к данным Cho, но расхождение все равно окажется очень большим.

Констатируя наличие противоречий в экспериментальных данных по полному сечению диспрозия, мы, однако, не находим очевидных резонансов для пересмотра принятых оценок полных сечений изотопов.

Сечение радиационного захвата

В следующей таблице сравниваются сечения захвата тепловых нейтронов и резонансные интегралы по оценкам ФОНД-2.2 и ENDF/B-VII со значениями, рекомендованными Мухабхабом в 2003 г.

Оценка	$\sigma_c(0.0253 \text{ эВ})$, барн	RI_c , барн
--------	--------------------------------------	---------------

ФОНД-2.2	906.8	1437.5
ENDF/B-VII	943.0	1399.2
Mughabghab	943±15	1480±100

Как видно, новая оценка значительно лучше согласуется с рекомендуемым Мухабхабом сечением захвата тепловых нейтронов; расхождение в резонансных интегралах хотя и возросло, но не вышло за пределы экспериментальной погрешности.

На рис. 24 оцененное сечение радиационного захвата сравнивается с имеющимися для природного диспрозия экспериментальными данными. Приведенные на рисунке данные Voss (1975) получены путем сложения вкладов для изотопов, для которых проводились измерения. Данные для ^{161}Dy в EXFOR представлены для иного энергетического разбиения и при оценке вклада этого изотопа в сечение захвата для естественной смеси, они переносились на более детальную энергетическую сетку, для которой имелись данные для других изотопов.

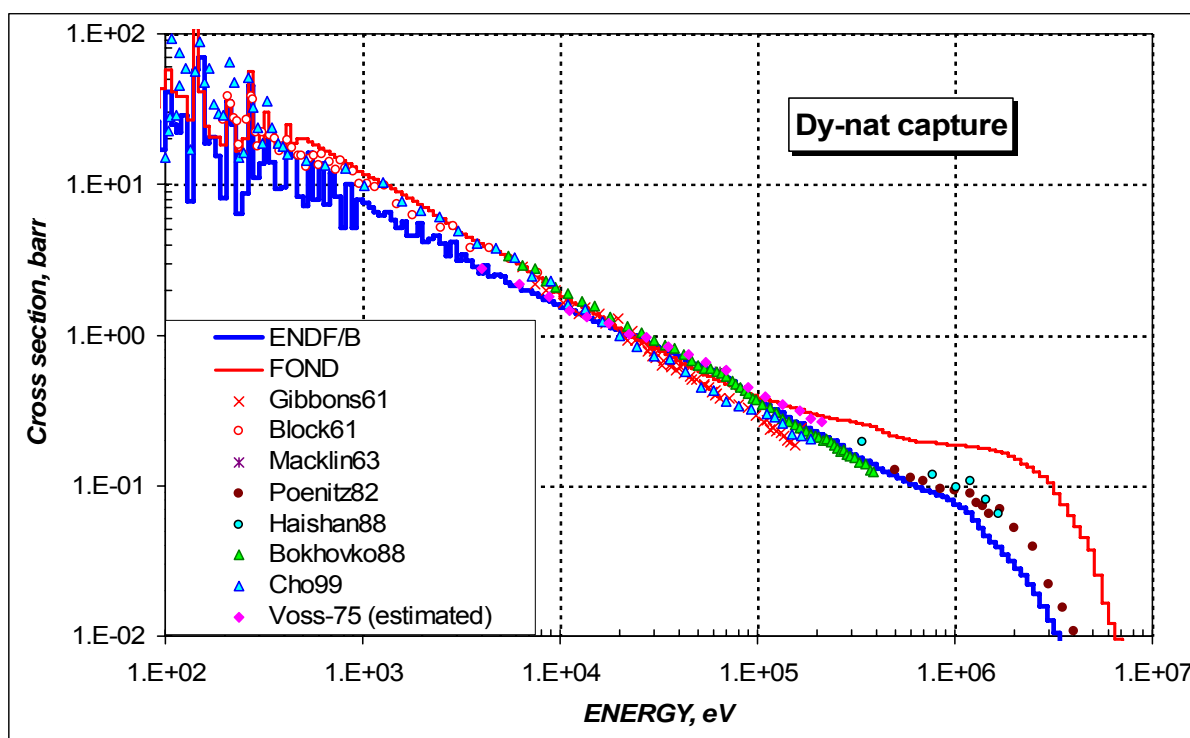


Рис.24. Сечение захвата для природного диспрозия.

Как видно, между оценками и поддерживающими их экспериментальными данными имеются существенные расхождения: в области нескольких кэВ данные отличаются примерно вдвое. Вклады изотопов в полное сечение захвата в области от 1 до 100 кэВ слабо зависят от энергии и составляют:

- ^{164}Dy – 7%;
- ^{163}Dy – 35%;
- ^{162}Dy – 9%;
- ^{161}Dy 47%
- ^{160}Dy , ^{158}Dy и ^{156}Dy в сумме – 2%.

Таким образом, объяснить двукратное расхождение можно лишь неточностями в оценке сечений четных изотопов.

Из рис. 13г. следует, что принятое в РОСФОНД сечение захвата для ^{161}Dy может быть увеличено в окрестности десяти кэВ, примерно, на 30%, если при оценке опереться только на данные Voss'a (1999), не приняв во внимание все остальные экспериментальные результаты. Это приведет к увеличению сечения захвата природного диспрозия при 10 кэВ лишь на 10% и никак не объяснит отмеченное выше расхождение.

Из рис. 17 г видно, что разброс экспериментальных данных для ^{163}Dy в области десятков кэВ не превышает 10%. В окрестности 10 кэВ данные двух имеющихся в этой области работ Mizuno, Voss'a и Beer'a согласуются даже лучше. Таким образом, существенно повысить принятые сечения захвата в этой энергетической области для этого изотопа невозможно, не приходя в противоречие со всей совокупностью имеющихся для него экспериментальных данных.

Рис. 19г показывает, что в случае ^{164}Dy разброс экспериментальных данных весьма велик, и при 10 кэВ сечение можно было бы увеличить в 2.7раза, если опереться целиком на данные Fawcett'a (1972), существенно превосходящие все остальные. Однако, поскольку вклад этого изотопа в сечение природного диспрозия мал, даже такое экстремальное решение не устранил наблюдающегося при 10 кэВ расхождения между данными Боховко(1988) и Voss'a, отличающимися в интервале 9 -11 кэВ от 60 до 30%.

Проведенное рассмотрение показывает лишь наличие значительных противоречий в экспериментальных данных по сечению захвата изотопов диспрозия и их естественной смеси, но не позволяет отдать определенное предпочтение ни данным об относительно высоком сечении захвата, ни принятым при оценке результатам, из которых следует принятое, значительно более низкое сечение захвата.

Сечение неупругого рассеяния

Экспериментальных данных о сечении неупругого рассеяния на изотопах диспрозия не имеется. Что касается природного диспрозия, то для него в базе данных УЧАЦК содержатся результаты единственного эксперимента, с которыми на рис.25 проводится сравнение оцененных данных. Преимущества оценки ENDF/B, отобранной в РОСФОНД, очевидны.

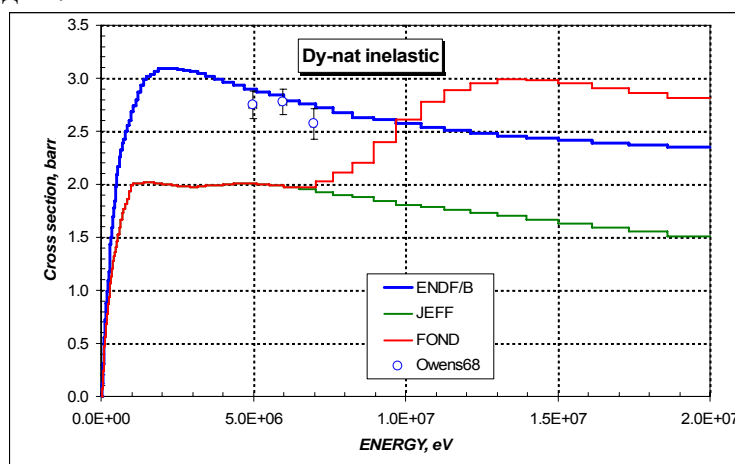


Рис.25. Сечение неупругого рассеяния нейтронов на диспрозии

Заключение, к которому приводит проведенное рассмотрение состоит в том, чтобы сохранить в библиотеке РОСФОНД, принятые в нее данные для изотопов, обратив внимание пользователей на возможную заниженность рекомендуемых сечений захвата. Разрешить имеющееся противоречие можно лишь путем привлечения дополнительных экспериментальных данных (возможно, интегральных экспериментов на быстрых критических сборках).

Авторы заключения – В.Н. Кошечев, М.Н. Николаев.