

75. РЕНИЙ

77.0 Общие замечания

В этом разделе описаны изотопы рения: два стабильных и семь радиоактивных изотопа с периодом полураспада более суток.

75.1. Рений-182.

Радиоактивен. Испытывая захват орбитального электрона распадается с периодом $T_{1/2}=64$ ч. в стабильный вольфрам-182. Образование этого нуклида в реакторе весьма маловероятно: единственными реакциями, ведущими к его образованию являются $^{184}\text{Os}(n,t)$ и $^{184}\text{Os}(n,n'd)$. Содержание ^{184}Os в природной смеси всего 0.02%.

Нейтронные сечения для рения-182 оценены исходя из теоретических соображений и содержатся в библиотеке EAF-2003 (оценка 2005 г.).

Заключение

В РОСФОНД следует включить файл данных из EAF-2003. Данные о сечениях реакций $(n,n'\alpha)$, $(n,n't)$ и $(n,^3\text{He})$, содержащиеся в EAF-2003 в файле MF=10, сложить по подсекциям с образованием конечных ядер в основных и изомерных состояниях и включить полученные суммы в файл MF=3 сформировав там соответствующие секции.

Включить файл MF=9 с секцией MT=106 с вероятностью образования тантала-180 в основном и долгоживущем изомерном состояниях. Вероятности рассчитать по данным файла MF=10. Файл MF=10 исключить.

Автор рекомендации

Забродская С.В.

75.2. Рений-183.

Радиоактивен. Испытывая захват орбитального электрона распадается с периодом $T_{1/2}=71$ д. в стабильный вольфрам-183. Образование этого нуклида в реакторе весьма маловероятно: единственными реакциями, ведущими к его образованию являются $^{184}\text{Os}(n,d)$, $^{184}\text{Os}(n,n'p)$, $^{185}\text{Re}(n,3n)$ и $^{185}\text{Re}(n,2n)$ $^{184}\text{Re}(n,2n)$.

Нейтронные сечения для рения-183 оценены исходя из теоретических соображений и содержатся в библиотеке EAF-2003 (оценка 2005 г.).

Заключение

В РОСФОНД следует включить файл данных из EAF-2003. Данные о сечениях реакций $(n,2n)$, (n,p) , (n,α) и $(n,2p)$, содержащиеся в EAF-2003 в файле MF=10, сложить по подсекциям с образованием конечных ядер в основных и изомерных состояниях и включить полученные суммы в файл MF=3 сформировав там соответствующие секции.

Включить файл MF=9 с секцией MT=102 с вероятностью образования рения-184 в основном и долгоживущем изомерном состояниях и секцией MT=107 с вероятностью образования тантала-180 в основном и долгоживущем изомерном состояниях. Вероятности рассчитать по данным файла MF=10. Файл MF=10 исключить.

Автор рекомендации

Забродская С.В.

75.3. Рений-184g.

Радиоактивен. Испытывая захват орбитального электрона распадается с периодом $T_{1/2}=38$ д. в стабильный вольфрам-184. Образование этого нуклида в реакторе возможно благодаря реакциям $^{185}\text{Re}(n,2n)$, $^{184}\text{Os}(n, p)$, $^{186}\text{Os}(n, t)$ и $^{186}\text{Os}(n, n'd)$.

Нейтронные сечения для рения-184g оценены исходя из теоретических соображений и содержатся в библиотеке EAF-2003 (оценка 2005 г.).

Заключение

В РОСФОНД следует включить файл данных из EAF-2003. Данные о сечениях реакций $(n,2n)$, (n,p) , (n,α) и $(n,2p)$, содержащиеся в EAF-2003 в файле MF=10, сложить по подсекциям с образованием конечных ядер в основных и изомерных состояниях и включить полученные суммы в файл MF=3 сформировав там соответствующие секции.

Сформировать секцию 9/22 с вероятностями образования тантала-180 в основном и изомерном состояниях.

В файле MF=10 сохранить лишь секцию MT=4 с сечением образования долгоживущего изомера.

Автор рекомендации

Забродская С.В.

75.4. Рений-184m.

Радиоактивен. Испытывает захват орбитального электрона с распадом в стабильный стабильный вольфрам-184 (24.6%) или изомерный переход в основное состояние. Период полураспада $T_{1/2}=169$ дн. Образование этого изомера в реакторе возможно благодаря реакциям $^{185}\text{Re}(n,2n)$, $^{184}\text{Os}(n, p)$, $^{186}\text{Os}(n, t)$ и $^{186}\text{Os}(n, n'd)$.

Нейтронные сечения для рения-184m оценены исходя из теоретических соображений и содержатся в библиотеке EAF-2003 (оценка 2005 г.).

Заключение

В РОСФОНД следует включить файл данных из EAF-2003. Данные о сечениях реакций $(n,2n)$, (n,p) , (n,α) и $(n,2p)$, содержащиеся в EAF-2003 в файле MF=10, сложить по подсекциям с образованием конечных ядер в основных и изомерных состояниях и включить полученные суммы в файл MF=3 сформировав там соответствующие секции.

Сформировать секцию 9/22 с вероятностями образования тантала-180 в основном и изомерном состояниях.

Перенести сечение образования основного состояния из файла MF=3 в файл MF=10.

Автор рекомендации

Забродская С.В.

75.5. Рений-185.

Содержание в естественной смеси 37.4%.

На данный момент в следующих библиотеках существуют оценки нейтронных данных для Re-185:

в **ENDF/B-7** и в **JEFF3.1**) - взята оценка L.W.Weston, P.G.Young, сделанная 1990 году (=ENDF/B-6 rel.4);

в **FOND2.2** – оценка W.B.Herderson, J.W.Zwick 1983 года, (= ENDF/B-5);

в **ЕАF2003** (JEFF3.0/A) - оценка Forrest, Кореску и др.2003 года ;.

В остальных библиотеках файлов для Re185 нет. Надо отметить, что в основу оценки ENDF/B-6 rel.4 положена версия файла из ENDF/B-5. В анализе оценка ENDF/B-5 она будет представлена, как библиотека FOND2.2. Поскольку оценка JEFF3.1 совпадает с ENDF/B-7, то на рисунках она отсутствует. Оценка ЕАF2003 является, как будет видно ниже, компиляцией оценок или версий ENDF/B-5 и ENDF/B-7.

На рис. 1 приводится полное сечение в тепловой области до 10 эВ. В EXFOR в этой области есть только один эксперимент В.П.Вертебного(1965). Как видно, в оценке ENDF/B-7 именно эти данные были взяты за основу.

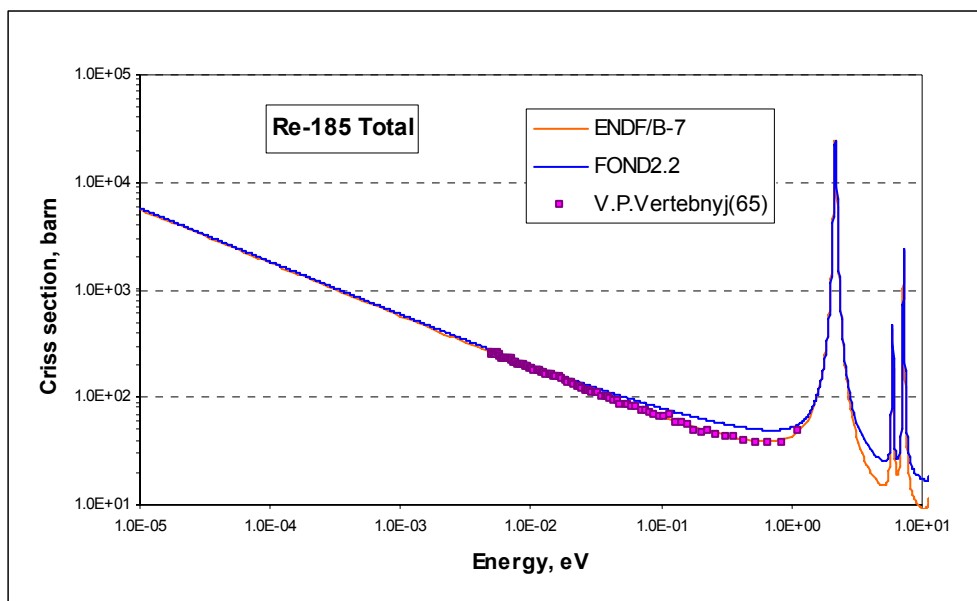


Рис.1. Полное сечение Re185

Область разрешенных резонансов в библиотеке ENDF/B-5 простирается до 100 эВ (30 резонансов из работы S.Friesenhahn(1967), последний – при 98.8 эВ). В ENDF/B-7 область разрешенных резонансов расширена до 2 кэВ (478 резонансов из компиляции Мухабхаба(1984), последний – при 1.999 кэВ). Большая детальность последней оценки очевидна. Смущающим обстоятельством является распространение области до энергии последнего разрешенного резонанса.

На рис. 2 приведены зависимости нарастающих сумм разрешенных резонансов с $J=2$ и $J=3$. Наличие существенного пропуска уровней в верхней части области разрешенных резонансов очевиден. На рис. 3 показаны зависимости среднего числа резонансов, приходящихся на 100 эВ, а на рис.4 – энергетическая зависимость оценки средней приведенной нейтронной ширины в зависимости от интервала усреднения. Неожиданным является ярко выраженная немонотонность этой зависимости немонотонность: выше 500 эВ средняя приведенная нейтронная ширина вместо

возрастания за счет пропуска слабых резонансов (как это наблюдается в интервале 250 - 500 эВ), наоборот, снижается.

На рис. 5 показаны распределения приведенных нейтронных ширин резонансов с энергиями до 500 эВ по 10%-м квантилям распределения Портера-Томаса.

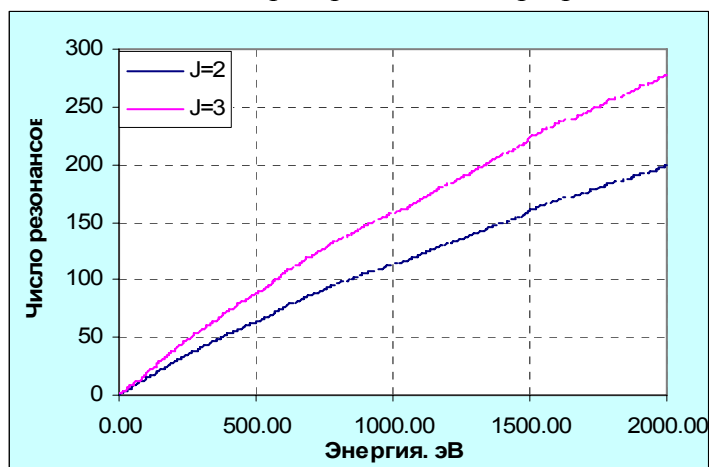


Рис.2. Нарастающие суммы s-резонансов

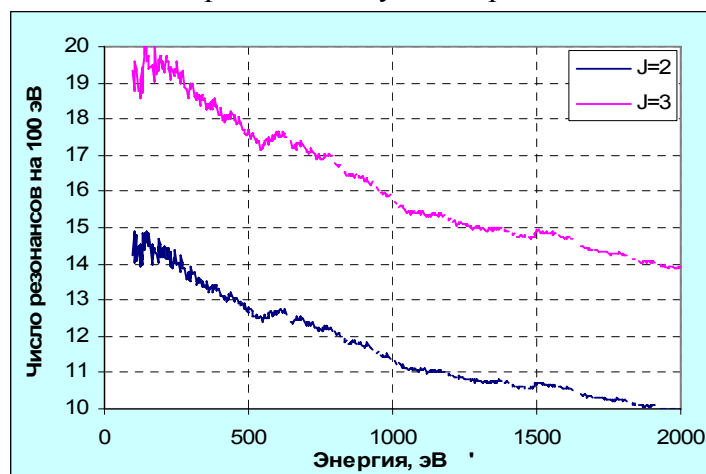


Рис.3. Энергетическая зависимость наблюдаемой плотности уровней

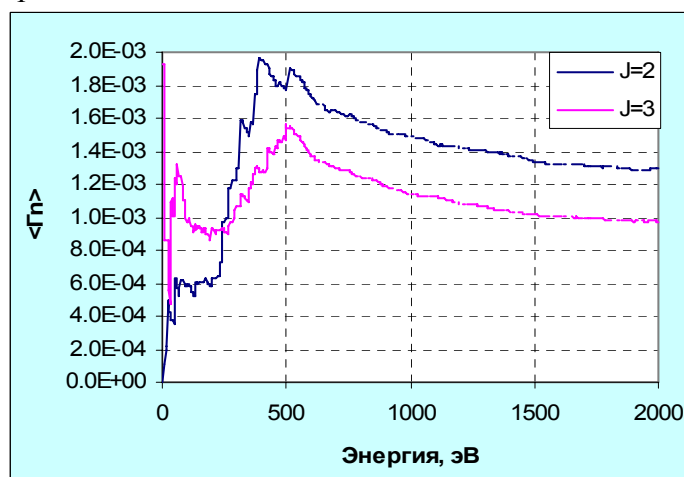


Рис.4а. Зависимость средней приведенной нейтронной ширины от интервала усреднения

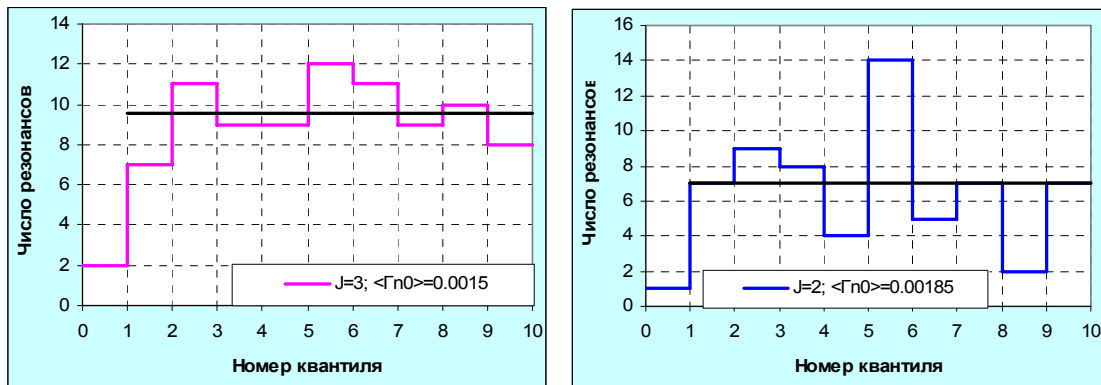


Рис.5. Распределение приведенных нейтронных ширин резонансов с энергиями ниже 500 эВ

Черными линиями показаны средние значения по 9 верхним квантилям. Как видно, отклонения от этих средних являются статистически ожидаемыми. Очевиден также резкий недостаток резонансов в первом квантиле, свидетельствующий о том, что и ниже 500 эВ около 10% резонансов пропущено. Это полностью согласуется с оценкой пропуска слабых резонансов в этой области, следующей из рис. 3. Силовые функции для резонансов с $J=2$ и $J=3$ из этих оценок получаются равными (в единицах 10^{-4}) 2.13 ± 0.04 и 2.11 ± 0.03 соответственно.

На рис. 6 показаны распределения приведенных нейтронных ширин резонансов, лежащих в интервале от 500 до 2000 эВ, полученные при тех же средних значениях. Эти распределения указывают на пропуск СИЛЬНЫХ резонансов, что противоречит здравому смыслу. Чтобы приблизить числа резонансов в двух верхних квантилях друг к другу требуется снизить средние приведенные нейтронные ширины в 3-5 раза (см. черные гистограммы на рис.6). При этом окажется, что пропущено значительно более половины резонансов.

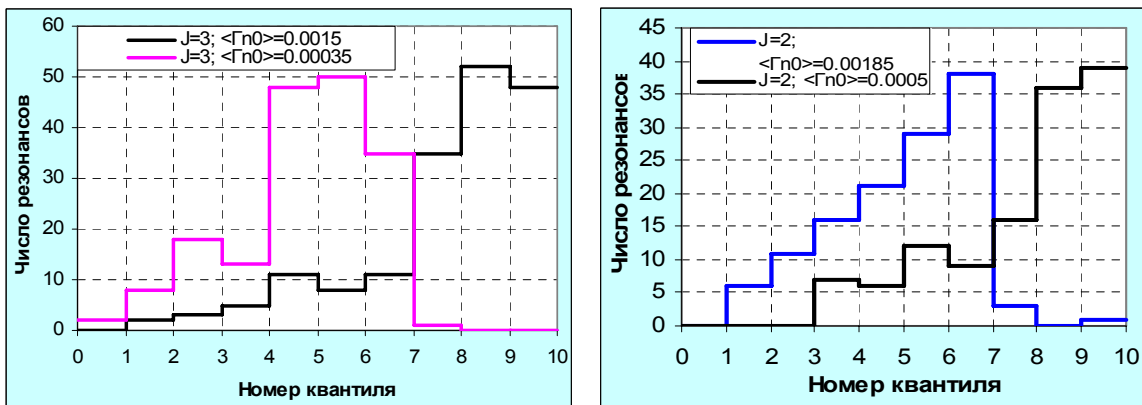


Рис.6. распределение приведенных нейтронных ширин резонансов с энергиями от 500 до 2000эВ.

Налицо противоречие¹, для разрешения которого требуется проведение специальной оценки, что выходит за рамки настоящей работы. В связи с изложенным полагаем, что верхняя граница области разрешенных резонансов должна быть установлена при 500 эВ.

Следует отметить, что единственным источником информации о параметрах резонансов при энергиях выше 500 эВ является работа Наменсона и др.², содержащая собственную оценку резонансных параметров, следующих из анализа проведенного эксперимента (EXFOR 10630). Все резонансы, лежащие при энергиях выше 500 эВ, присутствующие в оценке Мухабхаба и содержащиеся в ENDF/B-VII, содержатся и в

¹ Возможным объяснением может служить наличие значительного вклада р-резонансов в популяцию разрешенных уровней, в заметной степени компенсирующего пропуск слабых s-резонансов.

² A.I.Namenson et al. Nucl. Phys.A, v.266,p.83, 1976.

наборе Наменсона и в точности совпадают с ними по энергии. Однако оценки нейтронных ширин существенно различаются. На рис. 4б приведены нарастающие суммы ширин по данным Наменсона (спины резонансам приписаны те же, что и в оценке Мухабхаба). Столь очевидного пропуска уровней в этом случае не наблюдается. В то же время Наменсон отмечает еще 35 резонансных особенностей, которые он считает сдвоенными резонансами и для которых нейтронные ширины не им приводятся. В оценке Мухабхаба эти резонансы отсутствуют. Таким образом, вполне возможно что новая, более тщательная, обработка эксперимента Наменсона плюс статистический анализ резонансов позволят в будущем разрешить отмеченное выше противоречие.

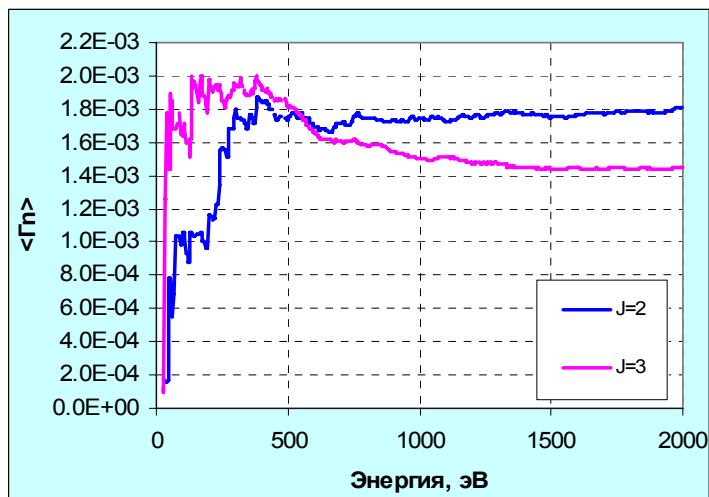


Рис.4б. Энергетические зависимости средних приведенных нейтронных ширин по данным Наменсона.

Область неразрешенных резонансов в ФОНД-2.2 (ENDF/B-V) простиралась от 100 эВ до 100 кэВ и учитывала вклады только s- и p-волн.

В ENDF/B-VII простирается только до 35 кэВ и учитывает вклады s-,p- и d-волн. Силовые функции для s-волны практически не зависят от спина и равны $2.33 \cdot 10^{-4}$, что лишь на 10% превышает сделанные выше оценки. Средние резонансные параметры предназначаются лишь для расчета факторов самоэкранировки. Использование их для расчета сечений ведет к существенному завышению как сечения захвата, так и сечения рассеяния. В связи с этим перенос нижней границы области неразрешенных резонансов на 500 эВ требовал определения сечений в файле MF=3 в интервале 500 -2000 эВ. Необходимость определения этих сечений побудила пересмотреть сечение захвата в области неразрешенных резонансов так, чтобы обеспечить согласие с экспериментальными данными (см. рис.11). Сечение упругого рассеяния проэкстраполировано от 2000эВ до 500 эВ. Полное сечение получено как сумма парциальных.

На рис.7 представлены экспериментальные данные по сечению захвата в тепловой области, которые не противоречат результатам оценок, кроме самого раннего эксперимента R.A.Karam(1963), который, однако, тоже отличается от оцененного значения гораздо меньше, чем на две погрешности.

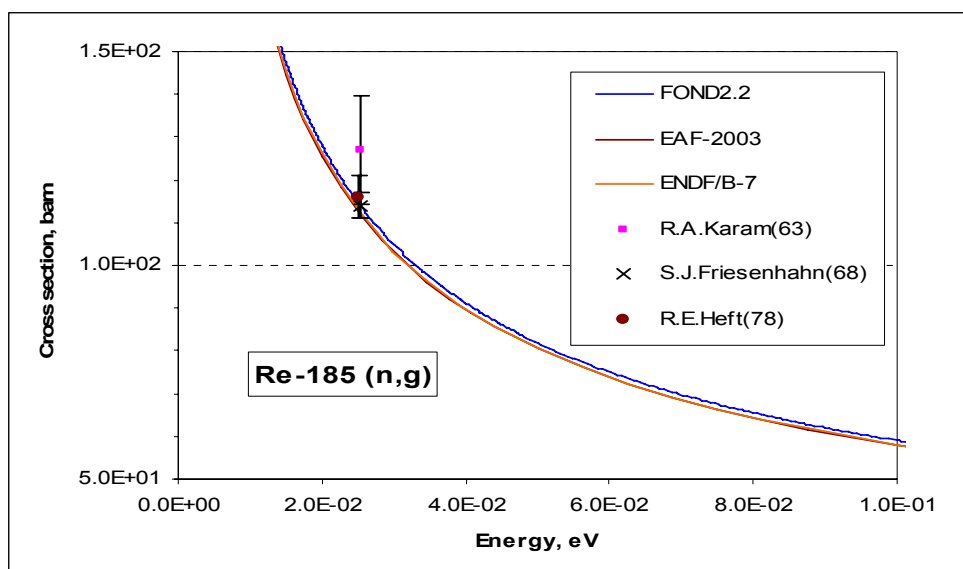


Рис.7 Сечение радиационного захвата Re185

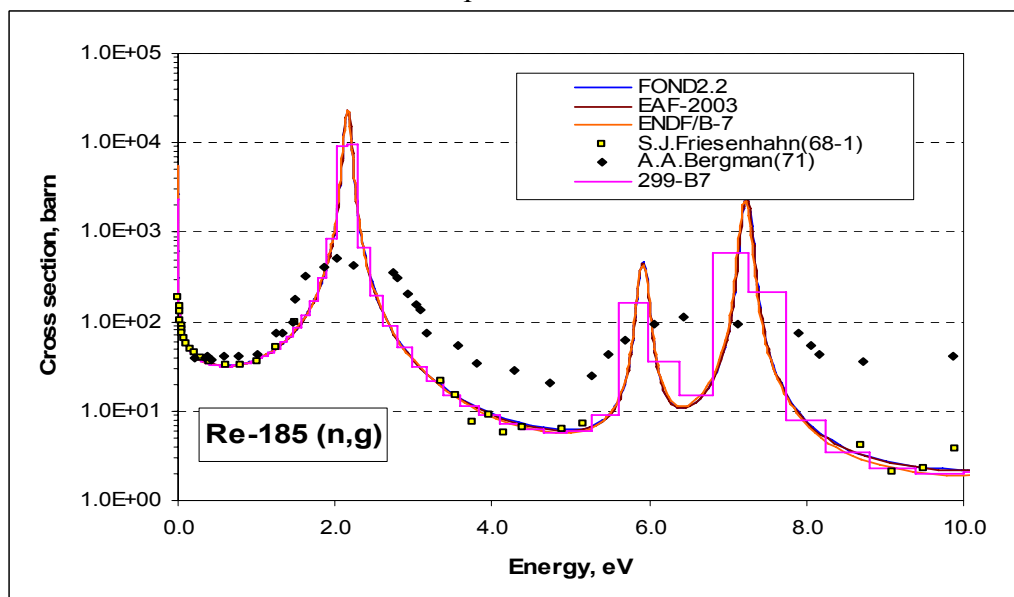


Рис.8 Сечение радиационного захвата Re185

Рис.8-10 относятся к области разрешенных резонансов.

Эта область в EXFOR представлена двумя экспериментами. Данные более раннего эксперимента S.Friesenhahn(1968) прекрасно согласуются с оценками в области до 10 эВ и в интервале 40-200 эВ. Эксперимент A.A.Bergmana(1971) в интервале до 10 эВ сильно уступает предыдущему в разрешении. При более высоких энергиях он демонстрирует хорошее согласие с оцененными данными. На рис. 3-5 для удобства сравнения с экспериментальными данными приводится еще результаты мультигрупповые (299 групп) сечения, рассчитанные по библиотеке ENDF/B-7 .

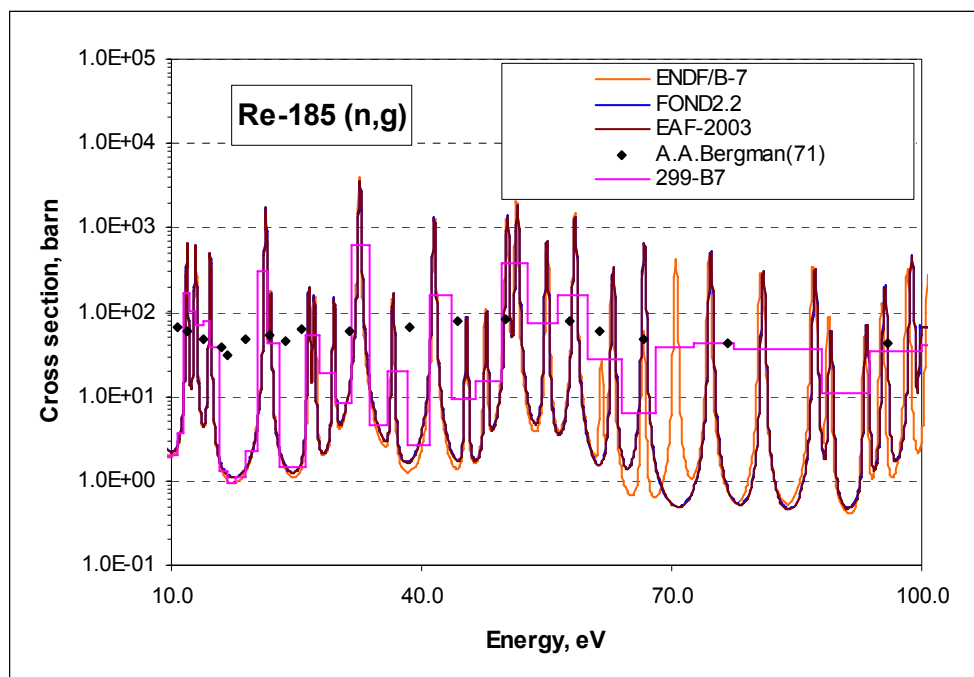


Рис.9 Сечение радиационного захвата Re185

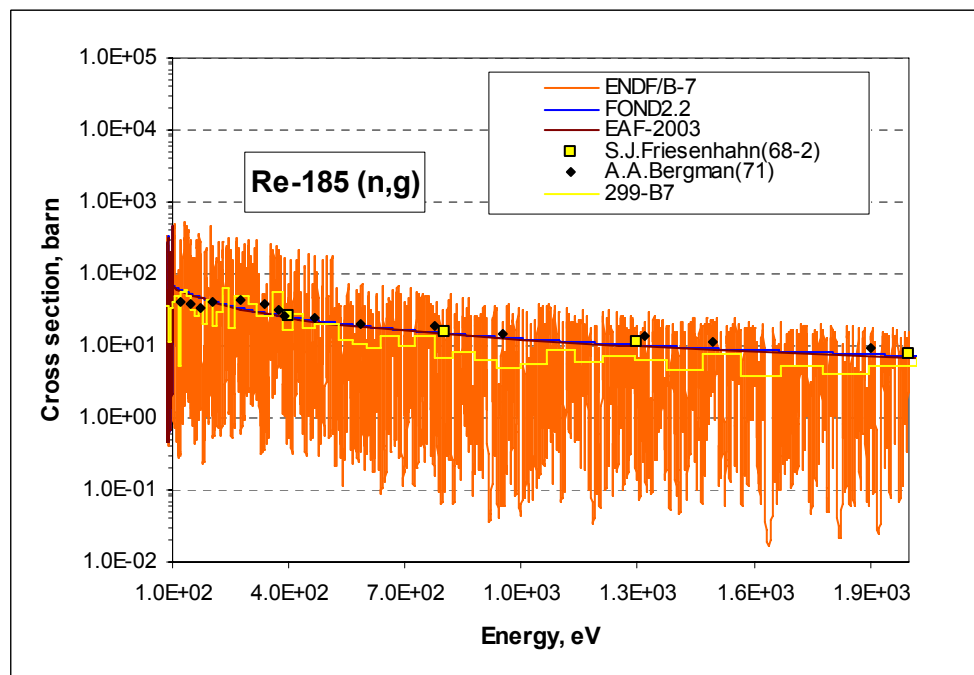


Рис.10 Сечение радиационного захвата Re185

В области неразрешенных резонансов все прежние оценки сечения радиационного захвата практически повторяют друг друга и дружно лежат ниже всех имеющихся экспериментальных данных (рис.11). Принятая в РОСФОНД кривая показана голубым цветом.

Выше 50 кэВ, где имеются экспериментальные данные нескольких авторов, наблюдается достаточно большой разброс их результатов вокруг оцененных значений (рис.12). Оценка ENDF/B-7, учитывающая помимо работ, принятых во внимание в оценке FOND-2.2, более поздние результаты Трофимова (1987 г.), выглядит предпочтительней. В этой области сечение, принятое в РОСФОНД, совпадает с оценкой ENDF/B-VII. При энергиях выше 3 МэВ экспериментальных данных по сечению захвата нет (рис.13). Преимущество оценки ENDF/B-VII в этой области состоит лишь в том, что она выполнена значительно позднее и, возможно, с более полным теоретическим обоснованием.

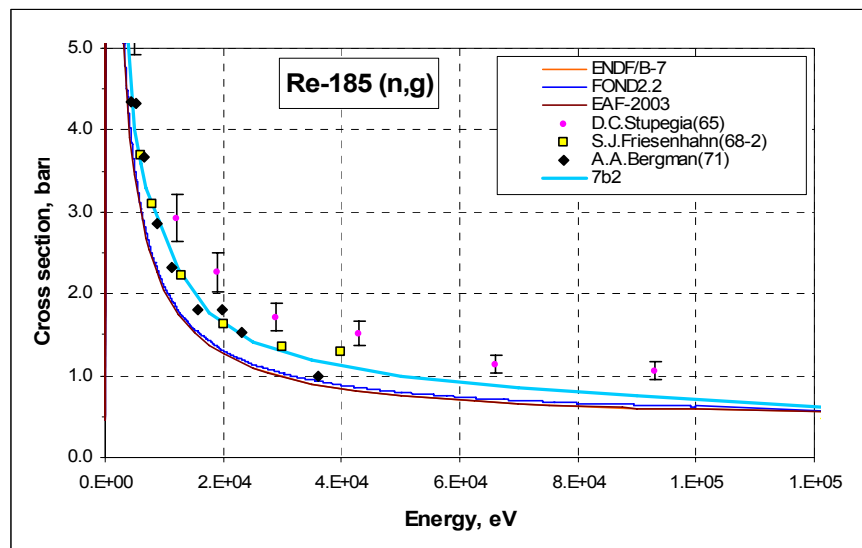


Рис.11 Сечение радиационного захвата Re185

Как видно из приведенных данных, оценка EAF-2003 совпадает с ENDF/B-7 до 20 МэВ. Таким образом, в то время как в резонансной области в EAF2003 взяты данные из ENDF/B-5, вне резонансной области приняты данные из ENDF/B-7.

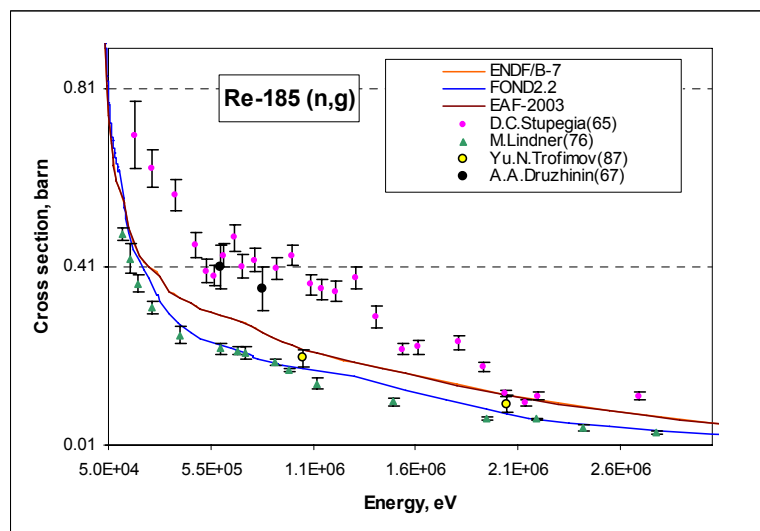


Рис.12 Сечение радиационного захвата Re185

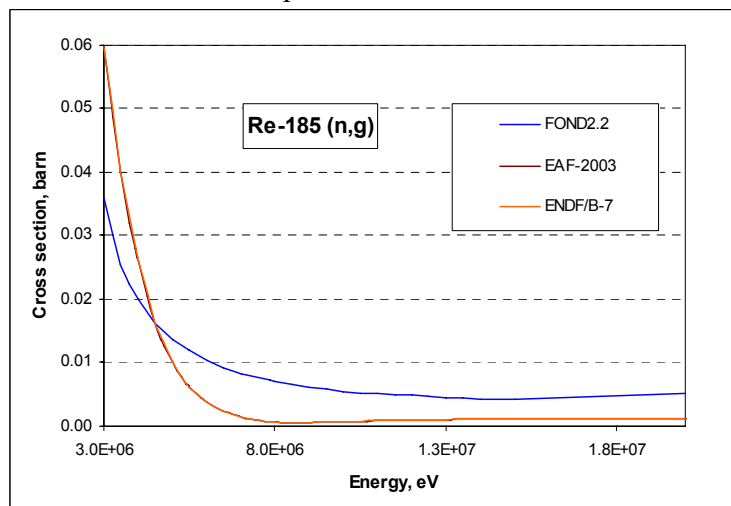


Рис.13 Сечение радиационного захвата Re185

На рис. 14 показано поведение полного сечения в той части области неразрешенных резонансов, которая перекрывается с областью разрешенных резонансов в ENDF/B-VIIb2. Как видно, принятое полное сечение здесь лежит посередине между оценками ФОНД-2.2. и ENDF/B-VIIb2.

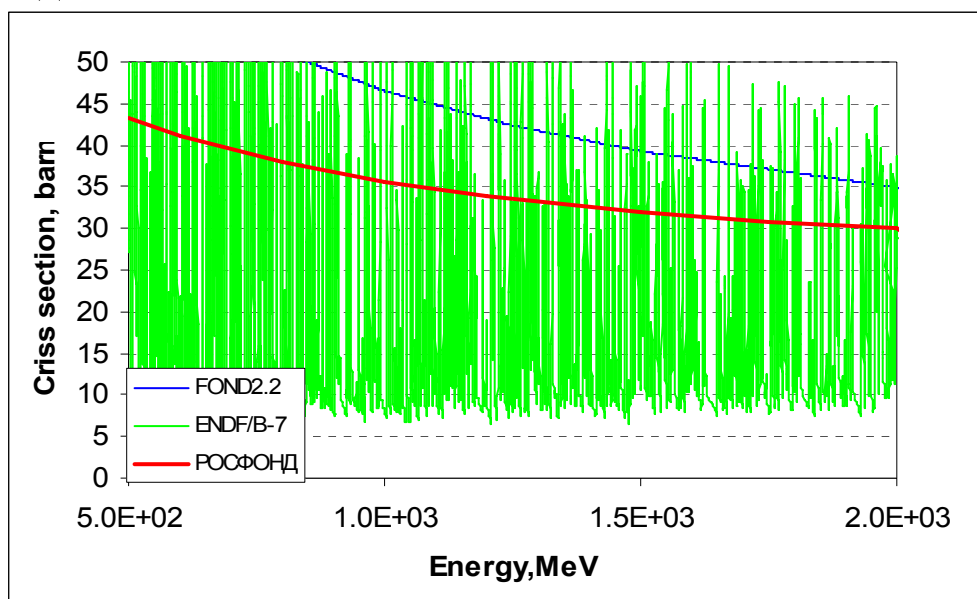


Рис.14. Полное сечение рения-185.

Заключение

На основании проведенного рассмотрения в РОСФОНД принимается файл Re185 из ENDF/B-7 со следующими изменениями.

1. Граница области разрешенных резонансов снижена до 500 эВ
2. Соответственно снижена граница области неразрешенных резонансов.
3. В интервале 500 эВ -125 кэВ принято пересмотренное сечение захвата. Соответственно изменено и полное сечение.
4. Включен файл MF=9 с данными о вероятностях образования изомерных долгоживущих изомерных состояний $^{186}\text{Re}^m$ в реакции (n,γ) и $^{185}\text{Re}^m$ - в реакции $(n,2n)$. Эти вероятности получены на основе сечений образования ядер-продуктов в основном и изомерном состояниях, приведенных в файле MF=10 библиотеки EAF-2003.
5. Исключен файл MF=33, содержащий оценку погрешностей сечения захвата, поскольку РОСФОНДе рекомендации по погрешностям сечений в настоящее время не даются и не обосновываются.

Сечения основных реакций на интегральных спектрах приведены в нижеследующей таблице. **Жирным шрифтом** выделены данные из ENDF/B-7. Как видно, отличия данных ENDF/B-7, принимаемых в РОСФОНД, от прежних данных (FOND-2.2) – невелики.

		Total	Elastic	Inelastic	(n,2n)	(n,3n)	(n, γ)
0.0253 эВ	ENDF/B-7	121.1	8.9				112.2
	EAF-2003						112.0
	FOND-2.2	134.7	20.7	0.0	0.0	0.0	114.0
Резонансный интеграл	ENDF/B-7	2008.7	278.9				1729.9
	EAF-2003						1708.7
	FOND-2.2	2149.0	403.6	0.0	0.0	0.0	1745.4
	ENDF/B-7	6.787	4.238	2.360	7.05E-03	1.53E-05	0.181

Спектр деления ^{235}U	ENDF/B-7	6.787	4.238	2.360	7.05E-03	1.53E-05	0.181
	ЕAF-2003					1.53E-05	0.181
	FOND2.2	6.804	4.733	1.918	5.32E-03	1.20E-05	0.147
14 МэВ	ENDF/B-7	5.32	2.69	0.44	2.19		1.10E-3
	ЕAF-2003						1.10E-3
	FOND-2.2	5.22	2.71	0.89	1.62		4.34E-3

Автор отбора данных

Забродская С.В.

75.6. Рений-186g.

Радиоактивен. Испытывает бета-распад в ^{184}Os (92ю53%) или захват орбитального электрона с распадом в стабильный стабильный вольфрам-186 (7.47%). Период полураспада $T_{1/2}=3.7186$ дн. Образование этого изомера в реакторе происходит благодаря реакциям $^{184}\text{Re}(n,\gamma)$, $^{187}\text{Re}(n,2n)$, $^{186}\text{Os}(n, p)$, $^{187}\text{Os}(n, d)$.

Нейтронные сечения для рения-184m оценены исходя из теоретических соображение и содержатся в библиотеке ЕAF-2003 (оценка 2005 г.).

Заключение

В РОСФОНД следует включить файл данных из ЕAF-2003. Данные о сечениях реакций $(n,3n)$, (n,d) , $(n,n'\alpha)$, $(n,n'p)$, и $(n,n'd)$, содержащиеся в ЕAF-2003 в файле MF=10, сложить по подсекциям с образованием конечных ядер в основных и изомерных состояниях и включить полученные суммы в файл MF=3 сформировав там соответствующие секции.

Сформировать секцию 9/17 с вероятностями образования рения-184 в основном и изомерном состояниях.

В файле MF=10 сохранить лишь секцию MT=4 с сечением образования долгоживущего изомера.

Автор рекомендации

Забродская С.В.

75.7. Рений-186m.

Радиоактивен. Испытывает изомерный переход в основное состояние. Период полураспада $T_{1/2}=2*10^5$ лет. Образование этого изомера в реакторе происходит благодаря реакциям $^{184}\text{Re}(n,\gamma)$, $^{187}\text{Re}(n,2n)$, $^{186}\text{Os}(n, p)$, $^{187}\text{Os}(n, d)$.

Нейтронные сечения для рения-184m оценены исходя из теоретических соображение и содержатся в библиотеке ЕAF-2003 (оценка 2005 г.).

Заключение

В РОСФОНД следует включить файл данных из ЕAF-2003. Данные о сечениях реакций $(n,3n)$, (n,d) , $(n,n'\alpha)$, $(n,n'p)$, и $(n,n'd)$, содержащиеся в ЕAF-2003 в файле MF=10, сложить по подсекциям с образованием конечных ядер в основных и изомерных состояниях и включить полученные суммы в файл MF=3 сформировав там соответствующие секции.

Сформировать секцию 9/17 с вероятностями образовании рения-184 в основном и изомерном состояниях.

Перенести сечение образования основного состояния из файла MF=3 в файл MF=10.

Файл MF=10 удалить.

Автор рекомендации

Забродская С.В.

75.8. Рений-187.

Содержание в естественной смеси 62.6%.

Ситуация с оценками для стабильного изотопа Re187 аналогична случаю с первым стабильным изотопом Re185:

в **ENDF/B-7**(ENDF/B-6 rel.4)- оценка L.W.Weston, P.G.Young, сделанная 1990 году;

в JEFF3.1 принята та же оценка;

в **FOND2.2** – оценка W.B.Herderson, J.W.Zwick 1983 года, которая была в версии ENDF/B-5;

в EAF2003 - оценка Forrest, Корецку и др.2003 года(JEFF3.0/A);

В остальных библиотеках файлов для Re187 нет. Отметим, что в основу оценок ENDF/B-7, JEFF3.1(ENDF/B-6 rel.4) была взята версия файла из ENDF/B-5. В анализе оценок она будет представлена, как библиотека FOND-2.2. Поскольку оценка JEFF3.1 совпадает с ENDF/B-7, то на рисунках она отсутствует. Оценка EAF2003 совпадает с FOND-2.2(ENDF/B-5), поэтому на графиках она также не приводится.

На рис. 1 приводится полное сечение в тепловой области (до 1.2 эВ). В EXFOR в этой области имеются данные эксперимента J.R.Dunning(1964) и В.П.Вертебного(1965). Как видно, оценка ENDF/B-7 почти точно проведена по экспериментальным точкам.

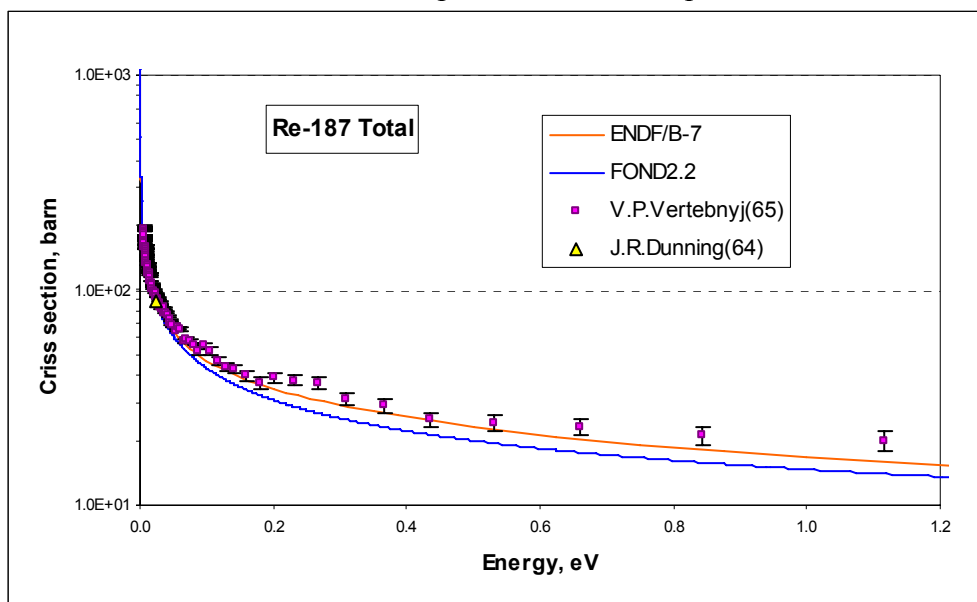


Рис.1 Полное сечение Re-187

Область разрешенных резонансов в библиотеке ENDF/B-5 простирается до 93.8 эВ, область неразрешенных резонансов тянется до 100 кэВ. В ENDF/B-7 границы совпадают с границами соответствующих областей изотопа для Re185, т.е область разрешенных резонансов простирается до 2 кэВ, а неразрешенных -до 35 кэВ. В ENDF/B-5 параметры

разрешенных резонансов были взяты из работы S.Friesenhahn(1967), в следующих версиях ENDF, включая ENDF/B-7, - из компиляции Мухабхаба(1984).

Ситуация с областью разрешенных резонансов в случае рения-187 в точности такая же, как в случае рения-185.

На рис. 2 приведены зависимости нарастающих сумм разрешенных резонансов с $J=2$ и $J=3$. Наличие существенного пропуска уровней в верхней части области разрешенных резонансов очевиден. На рис. 3 показаны зависимости среднего числа резонансов, приходящихся на 100 эВ, а на рис.4 – энергетическая зависимость оценки средней приведенной нейтронной ширины в зависимости от интервала усреднения. Неожиданным является ярко выраженная немонотонность этой зависимости: выше 600 эВ средняя приведенная нейтронная ширина вместо возрастания за счет пропуска слабых резонансов, наоборот, снижается.

На рис. 5 показаны распределения приведенных нейтронных ширин резонансов с энергиями до 600 эВ по 10%-м квантилям распределения Портера-Томаса.

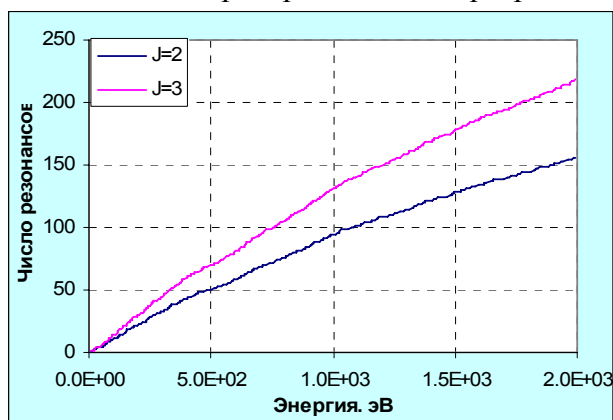


Рис.2. Нарастающие суммы s-резонансов

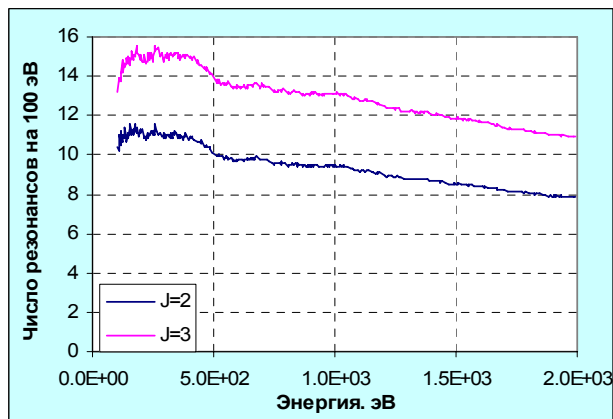


Рис.3. Энергетическая зависимость наблюдаемой плотности уровней

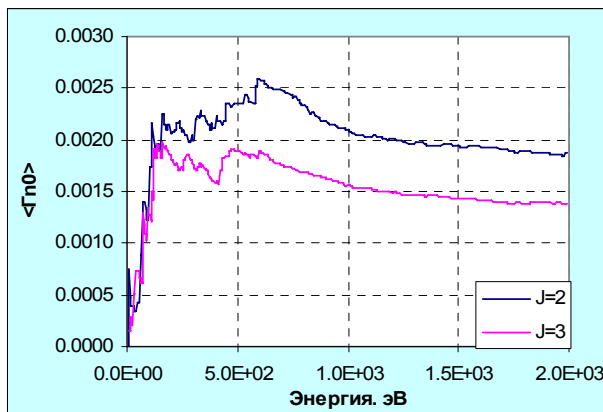


Рис.4. Зависимость средней приведенной нейтронной ширины от интервала усреднения

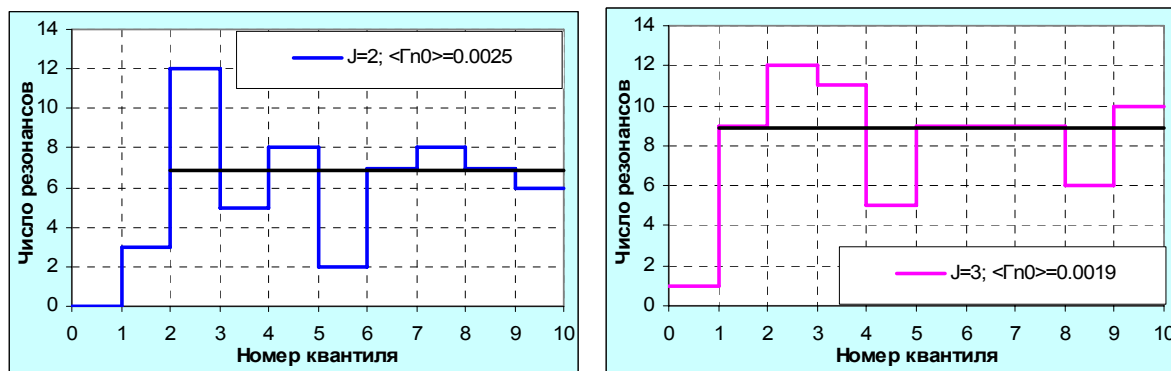


Рис.5. Распределение приведенных нейтронных ширин резонансов с энергиями ниже 600 эВ

Черными линиями показаны средние значения по 8 и, соответственно, 9 верхним квантилям. Как видно, отклонения от этих средних являются статистически ожидаемыми. Очевиден также резкий недостаток резонансов в первых квантилях, свидетельствующий о том, что и ниже 600 эВ около 10% резонансов пропущено. Это полностью согласуется с оценкой пропуска слабых резонансов в этой области, следующей из рис. 3. Силовые функции для резонансов с $J=2$ и $J=3$ из этих оценок получаются равными (в единицах 10^{-4}) 2.86 ± 0.04 и 2.81 ± 0.04 соответственно. Средние расстояния между уровнями – 8.73 эВ и 6.75 эВ.

На рис. 6 показаны распределения приведенных нейтронных ширин резонансов, лежащих в интервале от 600 до 2000 эВ, полученные при тех же средних значениях. Эти распределения указывают на пропуск СИЛЬНЫХ резонансов, что противоречит здравому смыслу. Как и в случае рения-185, чтобы приблизить числа резонансов в двух верхних квантилях друг к другу требуется в несколько раз снизить средние приведенные нейтронные ширины. При этом окажется, что пропущено значительно более половины резонансов (см. гистограммы, нанесенные тонкими линиями).

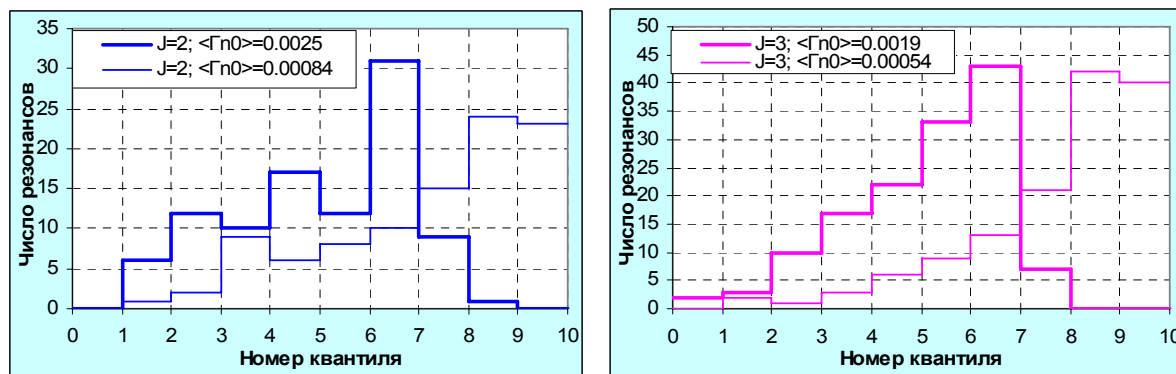


Рис.6. Распределение приведенных нейтронных ширин резонансов с энергиями от 600 до 2000 эВ.

Налицо противоречие³, для разрешения которого требуется проведение специальной оценки, что выходит за рамки настоящей работы. В связи с изложенным полагаем, что верхняя граница области разрешенных резонансов должна быть установлена при 600 эВ.

Следует отметить, что как и в случае рения-185 единственным источником информации о параметрах резонансов при энергиях выше 600 эВ является работа Наменсона и др.⁴, содержащая собственную оценку резонансных параметров, следующих

³ Возможным объяснением может служить наличие значительного вклада p-резонансов в популяцию разрешенных уровней, в заметной степени компенсирующего пропуск слабых s-резонансов.

⁴ A.I.Namenson et al. Nucl. Phys.A, v.266,p.83, 1976.

из анализа проведенного эксперимента (EXFOR 10630). Все резонансы, лежащие при энергиях выше 600 эВ, присутствующие в оценке Мухабхаба и содержащиеся в ENDF/B-VII, содержатся и в наборе Наменсона и в точности совпадают с ними по энергии. Однако оценки нейтронных ширин существенно различаются. Кроме того, Наменсон отмечает еще 29 резонансных особенностей, которые он считает сдвоенными резонансами и для которых нейтронные ширины не им приводятся. В оценке Мухабхаба эти резонансы отсутствуют. Таким образом, вполне возможно, что новая, более тщательная, обработка эксперимента Наменсона плюс статистический анализ резонансов позволят в будущем разрешить отмеченное выше противоречие.

Область неразрешенных резонансов в ФОНД-2.2 (ENDF/B-V) простиралась от 93.8 эВ до 100 кэВ и учитывала вклады только s- и p-волн.

В ENDF/B-VII простирается только до 35 кэВ и учитывает вклады s-,p- и d-волн. Силовые функции для s-волны не зависят от спина и равны $2.88 \cdot 10^{-4}$, что весьма близко к сделанным выше оценкам. Средние резонансные параметры предназначаются лишь для расчета факторов самоэкранировки. Использование их для расчета сечений ведет к существенному завышению как сечения захвата, так и сечения рассеяния. В связи с этим перенос нижней границы области неразрешенных резонансов на 600 эВ требовал определения сечений в файле MF=3 в интервале 600 -2000 эВ. Энергетический ход сечений в этом интервале был принят таким, как в ФОНД-2.2, с такой перенормировкой, чтобы при 2 кэВ сечения совпадали с принятыми в ENDF/B-VII.

На рис.7-11 приводится сечение радиационного захвата для Re-187. На рис.7 представлены эксперименты в тепловой области. Видно, что предпочтение отдано более раннему эксперименту S.Friesenhahn(1968), хотя данные оценки ENDF/B-7 проходят чуть выше данных этого эксперимента.

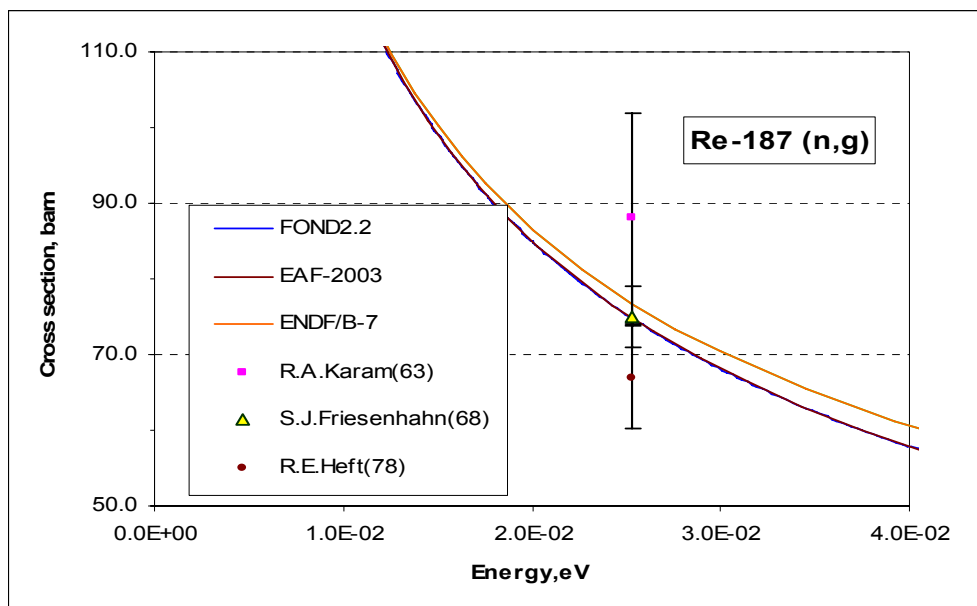


Рис.7. Сечение захвата Re-187.

В области энергий до 10 эВ в EXFOR были найдены два эксперимента. Их результаты показаны на рис.8. Данные эксперимента S.Friesenhahn(1968) совпадают с оценкой FOND2.2 и EAF2003. Данные A.A.Bergmana(1971), как и в случае с Re-185, трудно сравнивать с оценкой из-за низкого разрешения.

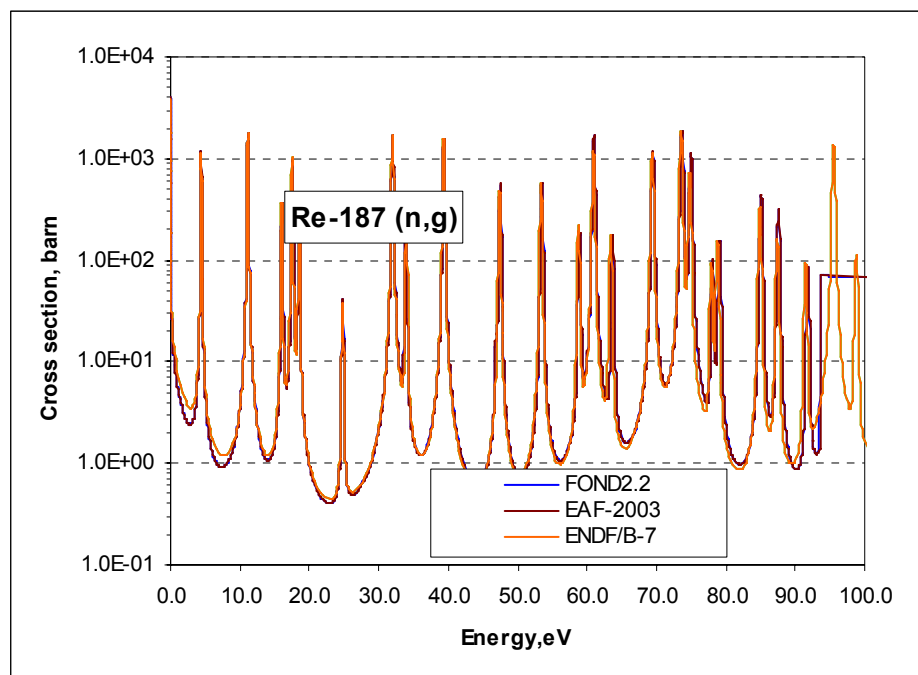


Рис.9. Сечение захвата Re-187.

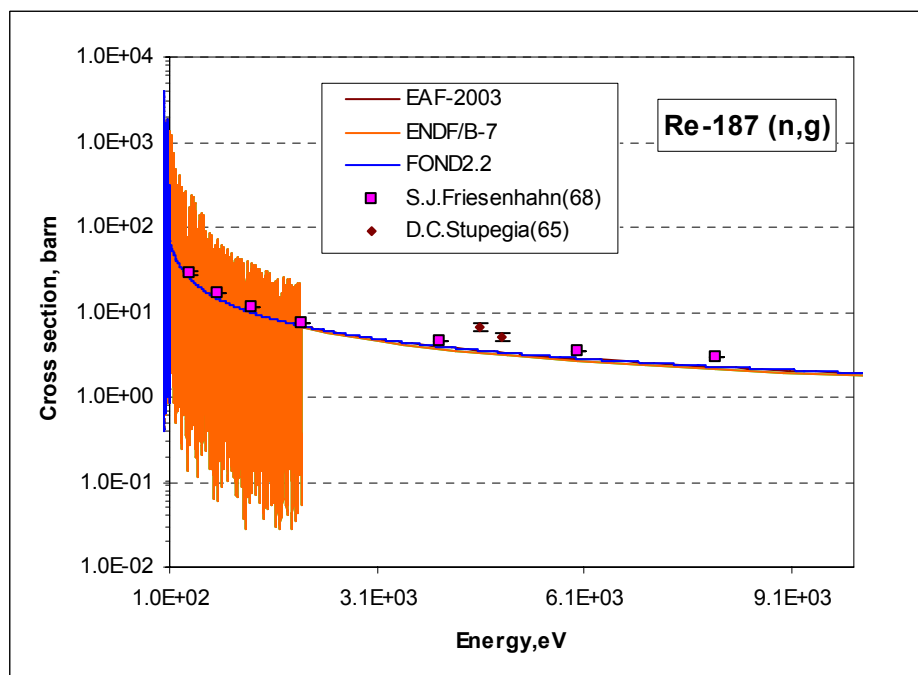


Рис.10. Сечение захвата Re-187.

На рис.9, 10 приводится поведение сечение радиационного сечения на Re-187 до 10 кэВ. До 100 эВ экспериментальных данных в EXFORе нет. Из этих рисунков видно различие границ разрешенных резонансов в оценках FOND2.2 и ENDF/B-7. Напомним, что в РОСФОНДе область разрешенных резонансов простирается только до 600 эВ, где данные совпадают с ENDF/B-VII.

В области выше 100 эВ имеются результаты экспериментов D.C. Stupegia(1965) и S.Friesenhahn(1968). Последний хорошо согласуется с оценками вплоть до 10 кэВ. При более высоких энергиях оцененные кривые лежат значительно ниже экспериментальных данных, полученных названными авторами. Основанием для этого, видимо, служат аналогичное расхождение, имеющее место для Re-185, где оно оправдывается результатами более поздних работ.

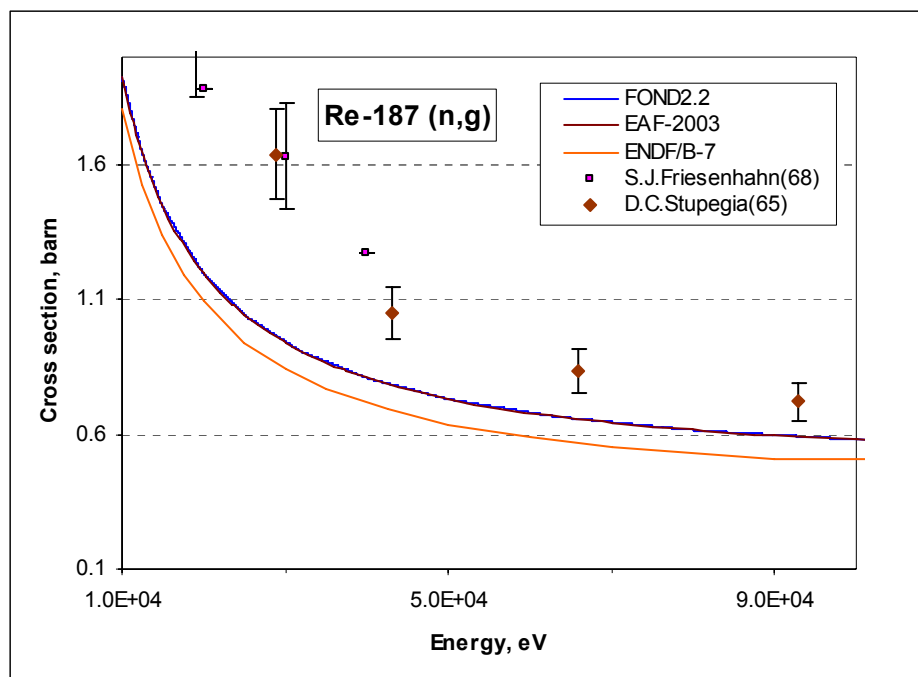


Рис.11 Сечение захвата Re-187

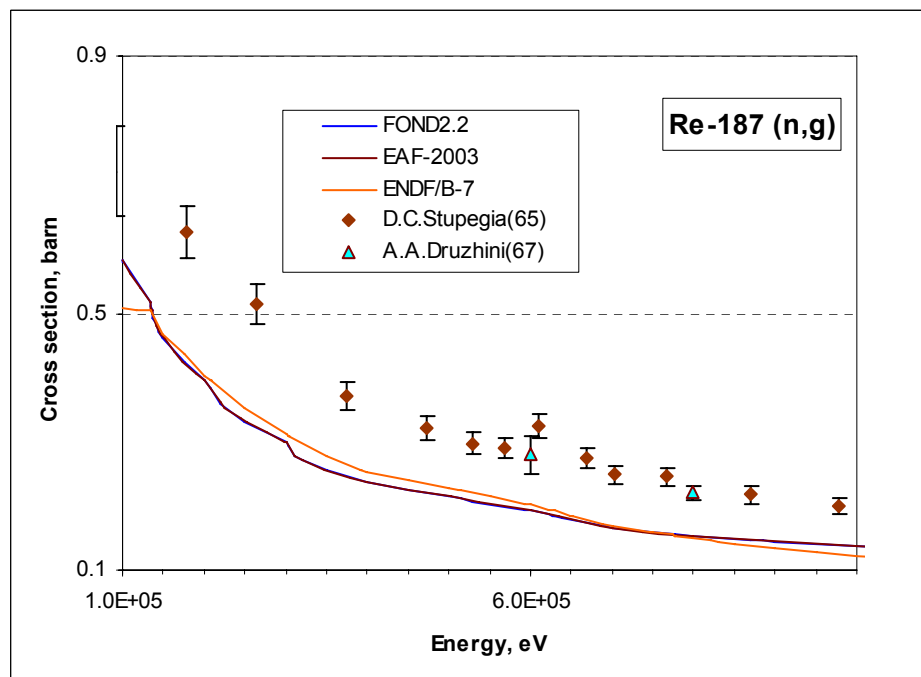


Рис.12 Сечение захвата Re-187

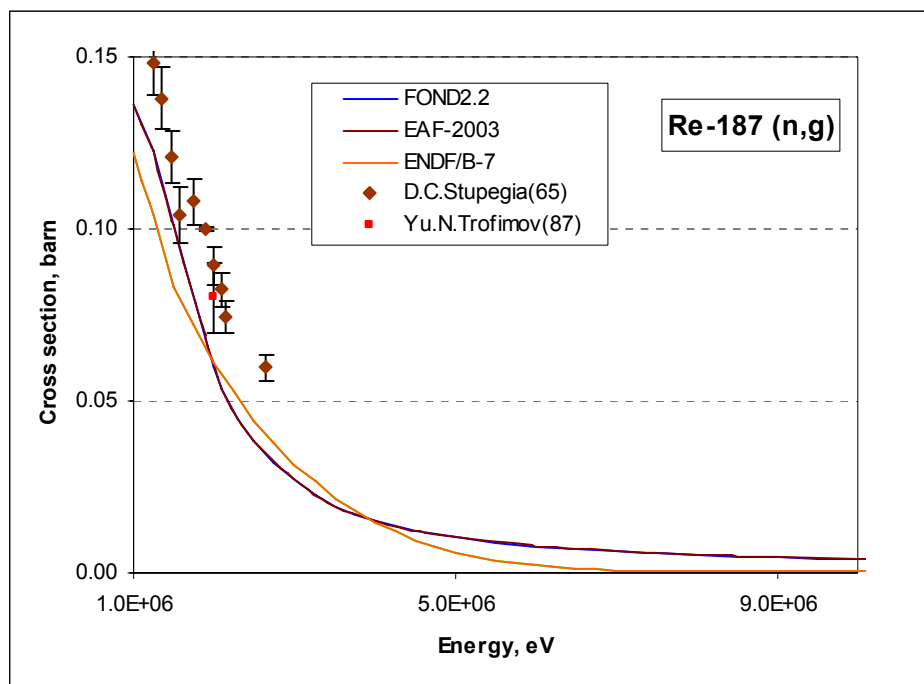


Рис.13

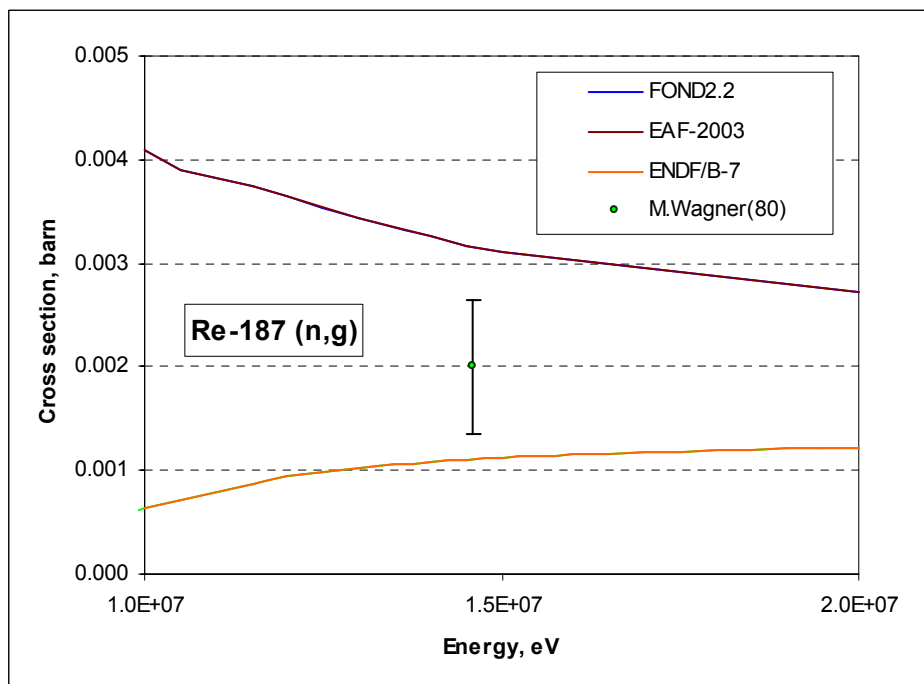


Рис.14

Заключение

На основании проведенного рассмотрения в РОСФОНД принимается файл Re-187 из ENDF/B-7 со следующими изменениями.

1. Граница области разрешенных резонансов снижена до 600 эВ
2. Соответственно снижена граница области неразрешенных резонансов.
3. В интервале 600 эВ - 2 кэВ в файле MF=3 приняты сечения захвата, полное сечение и сечение рассеяния, пропорциональные таковым из оценки ENDF/B-V, с такой перенормировкой, что значения сечений при 2 кэВ совпадают с таковыми из ENDF/B-VII.

4. Исключен файл MF=33, содержащий оценку погрешностей сечения захвата, поскольку РОСФОНДе рекомендации по погрешностям сечений в настоящее время не даются и не обосновываются.

Сечения основных реакций на интегральных спектрах приведены в нижеследующей таблице. **Жирным шрифтом** выделены данные из ENDF/B-7. Как видно, различия в рекомендуемых сечениях в случае рения-187 существенно выше, чем для рения-185. Это обусловлено появлением существенно новых данных в области разрешенных резонансов.

		Total	Elastic	Inelastic	(n,2n)	(n,3n)	(n, γ)
0.0253 эВ	ENDF/B-7	86.7	10.0				76.7
	EAF2003						74.9
	FOND2.2	134.7	20.7				114.0
Резонансный интеграл	ENDF/B-7	530.9	237.2				293.7
	EAF2003						286.6
	FOND2.2	2149.0	403.6				1745.4
Спектр деления ^{235}U	ENDF/B-7	6.8	4.2	2.48	9.67E-3	3.14E-5	0.117
	EAF2003					3.14E-5	0.120
	FOND2.2	6.8	4.7	1.92	5.32E-3	1.20E-5	0.147
14 МэВ	ENDF/B-7	5.3	2.7	0.39	2.24	9.35E-4	1.08E-3
	EAF2003					9.35E-4	3.27E-3
	FOND2.2	5.2	2.7	0.89	1.62		4.34E-3

Автор отбора данных

Забродская С.В.

75.9. Рений-189.

Радиоактивен. Испытывает бета-распад в ^{189}Os . Период полураспада $T_{1/2}=24.3$ ч. Образование этого изотопа в реакторе происходит благодаря реакциям $^{189}\text{Os}(n,p)$, $^{188}\text{Os}(n,d)$, $^{188}\text{Os}(n,n'p)$, $^{189}\text{Os}(n,t)$, $^{189}\text{Os}(n,n'd)$

Нейтронные сечения для рения-184m оценены исходя из теоретических соображение и содержатся в библиотеке EAF-2003 (оценка 2005 г.).

Заключение

В РОСФОНД следует включить файл данных из EAF-2003. Данные о сечениях реакции (n,2n), содержащиеся в EAF-2003 в файле MF=10, сложить по подсекциям с образованием конечных ядер в основных и изомерных состояниях и включить полученные суммы в файл MF=3, сформировав там соответствующую секцию.

Файл MF=10 исключить.

Автор рекомендации

Забродская С.В.

75.10. Рений природный.

Для естественного рения есть только одна оценка 1988 года в FOND2.2, полученная компиляцией двух оценок изотопов Re-185 и Re-187. Автор этой оценки – Николаев М.Н.

Область разрешенных и неразрешенных резонансов для натурального рения получена представлением этих областей последовательно сначала, для Re-185, затем – Re-187.

На рис.1-5 приводится полное сечение Re. Отметим, что экспериментальных данных в EXFOR оказалось больше, чем для отдельных изотопов. Причем энергетическая область, где проводились эксперименты, охватывает практически весь диапазон - от тепловой точки до 15 МэВ.

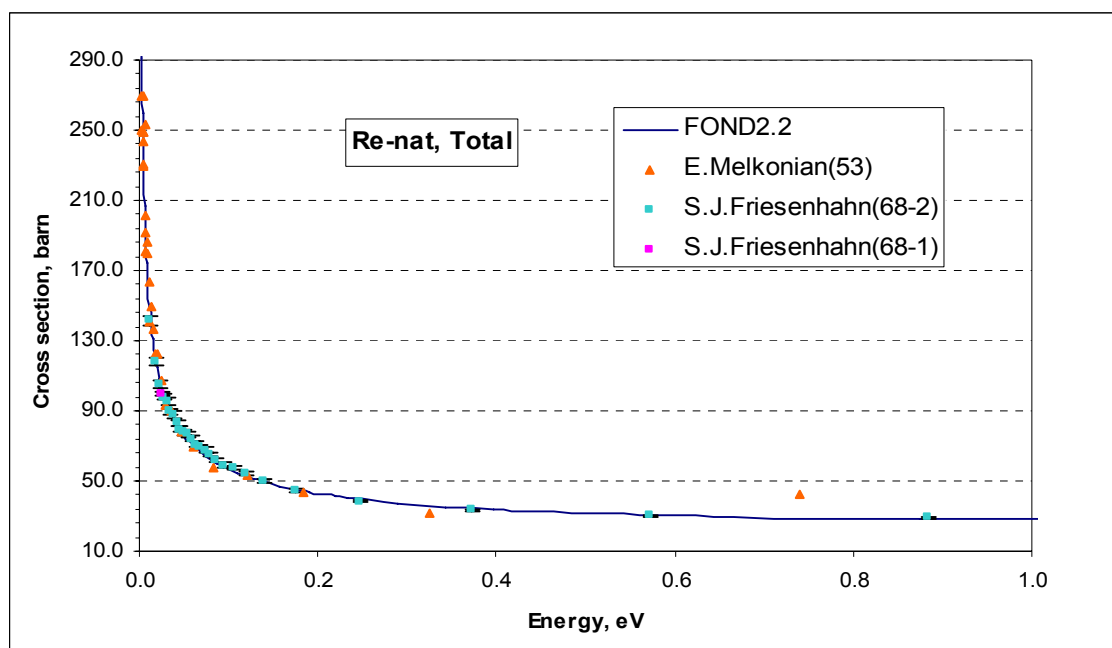


Рис.1

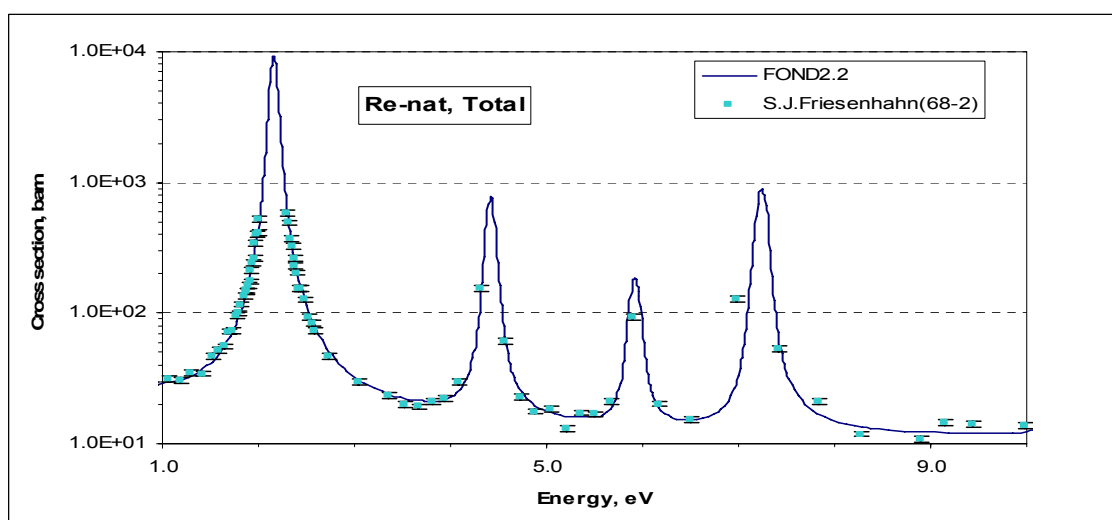


Рис.2

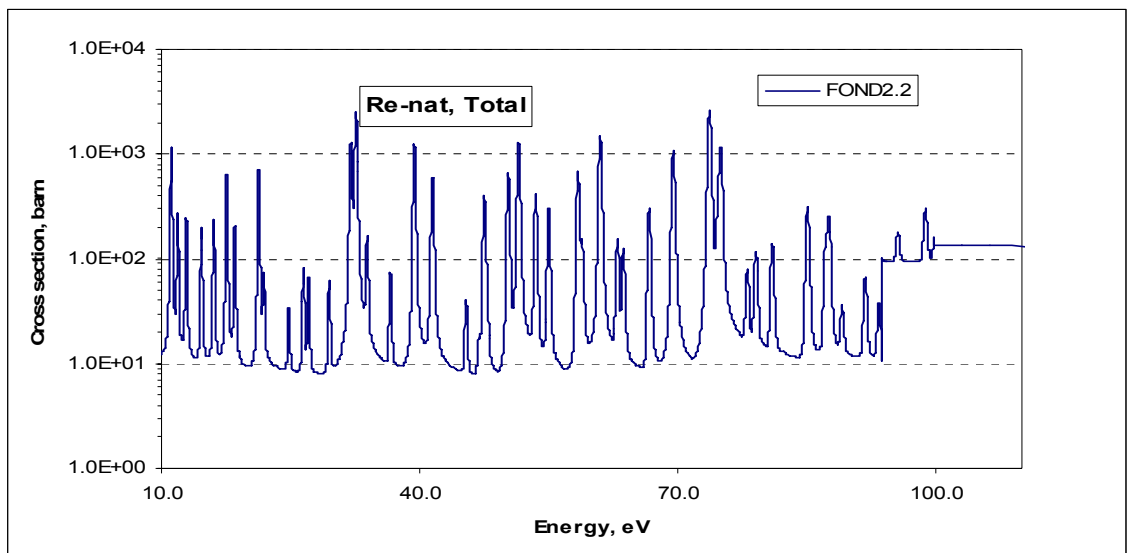


Рис.3

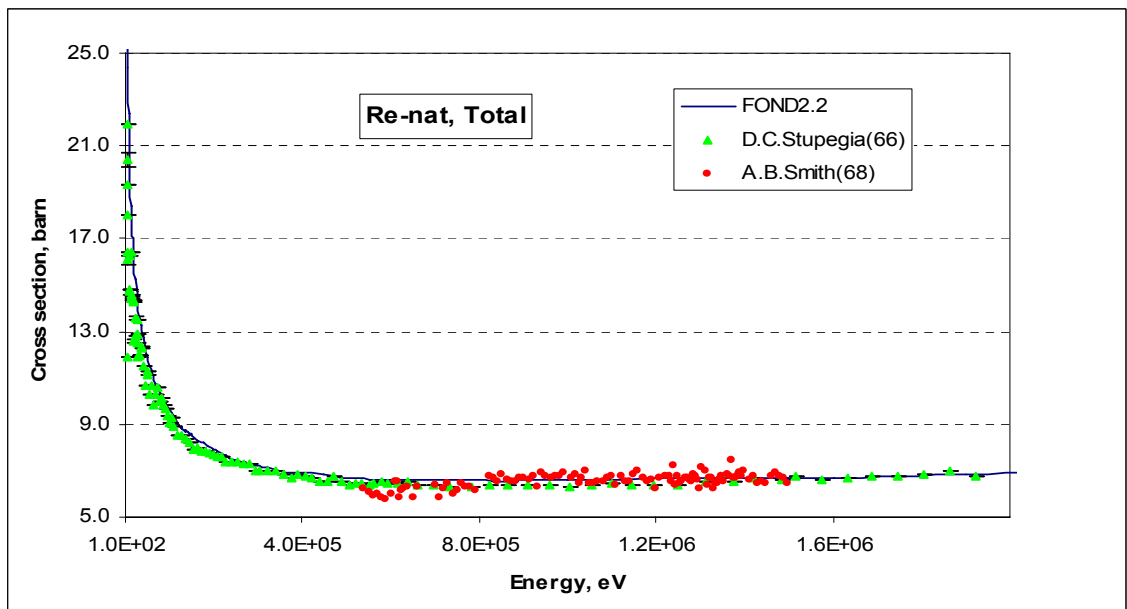


Рис.4

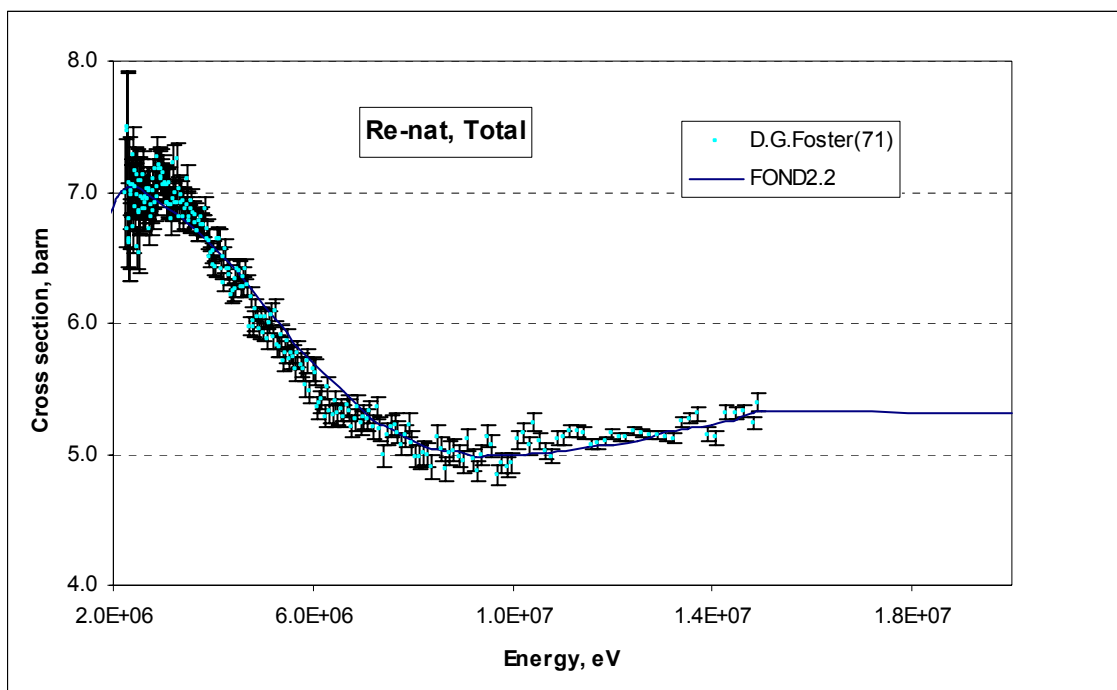


Рис.5

На всех рисунках наблюдается согласие расчетной кривой с экспериментальными данными.

На рис.6-11 приводится отдельно сечение радиационного захвата. Экспериментальных данных для этого сечения тоже довольно много. В тепловой области на рис.6 наблюдается хорошее согласие с экспериментами и в тепловой точке и дальше до 1 эВ.

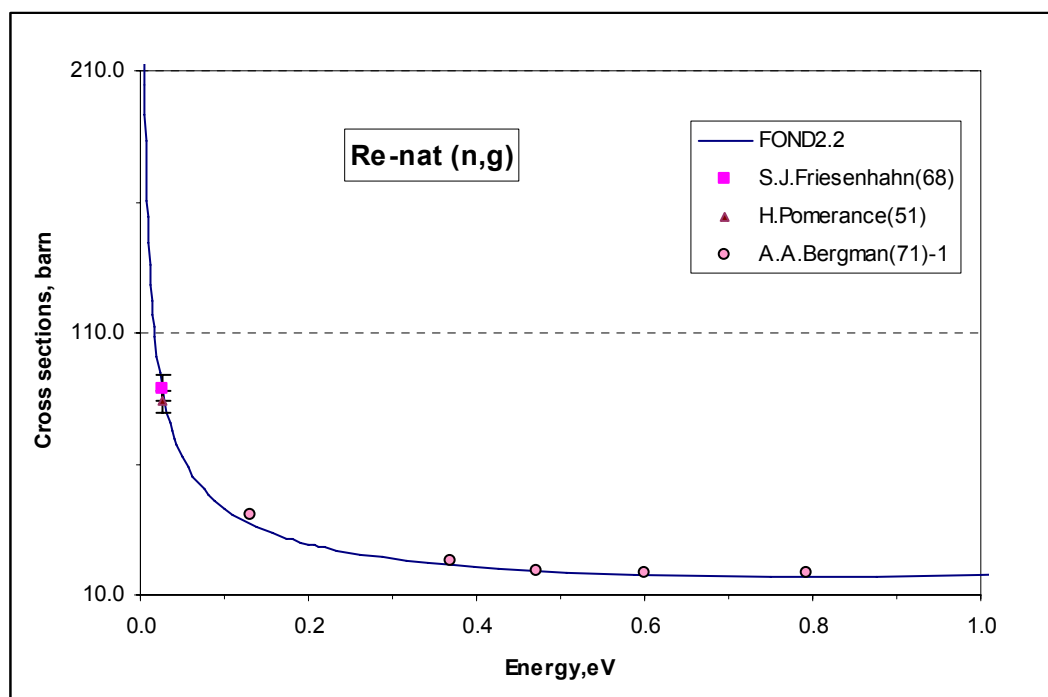


Рис.6

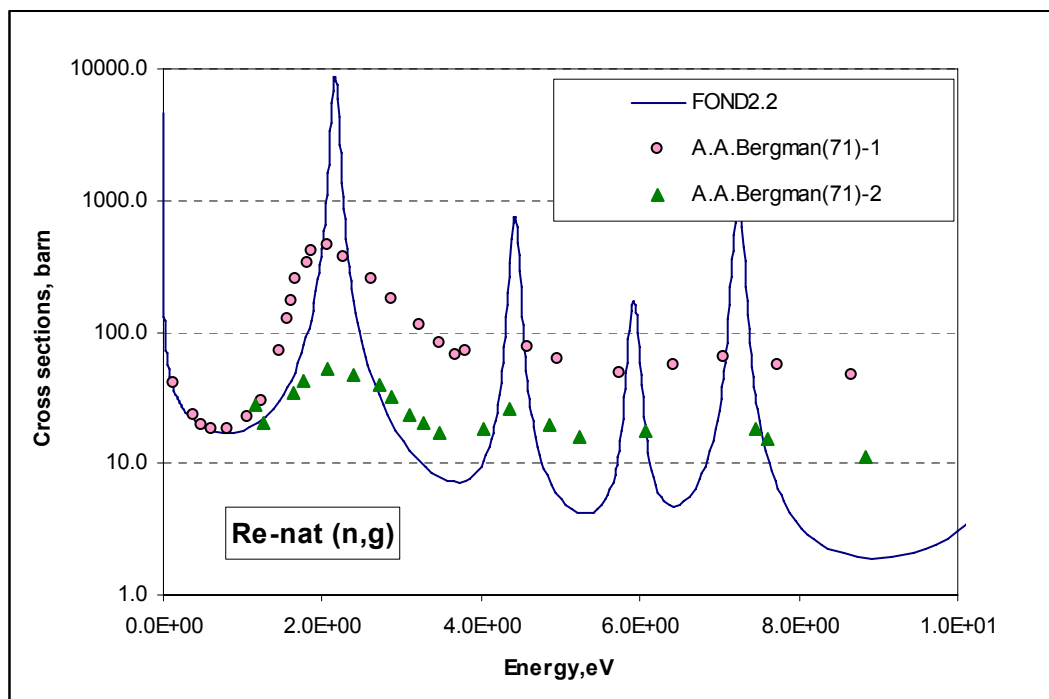


Рис.7

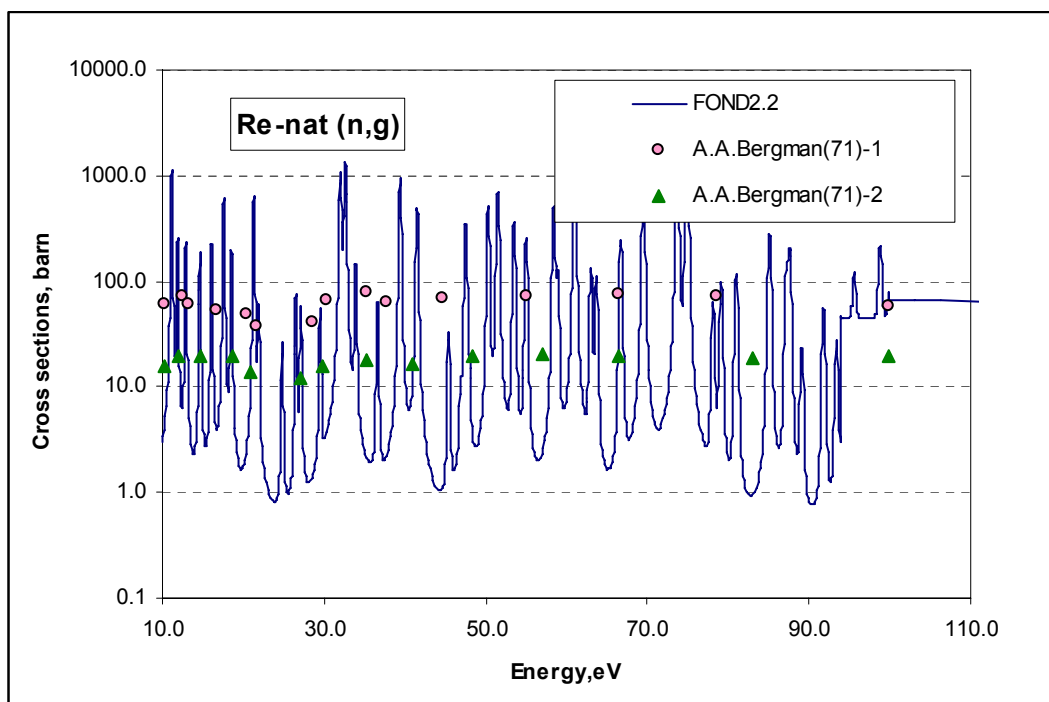


Рис.8

На рис.7,8 до 100 эВ есть два эксперимента А.А.Бергман(1971). Они проводились для образцов одного состава, но разной толщины. В первом толщина образца составляла $0.5e21$ атом/см², во втором – $14.5e21$ атом/см².

На рис. 9-11 до 20 МэВ приводится много экспериментов, но в качестве основного для оценки выбраны данные R.L.Maclin(1987).

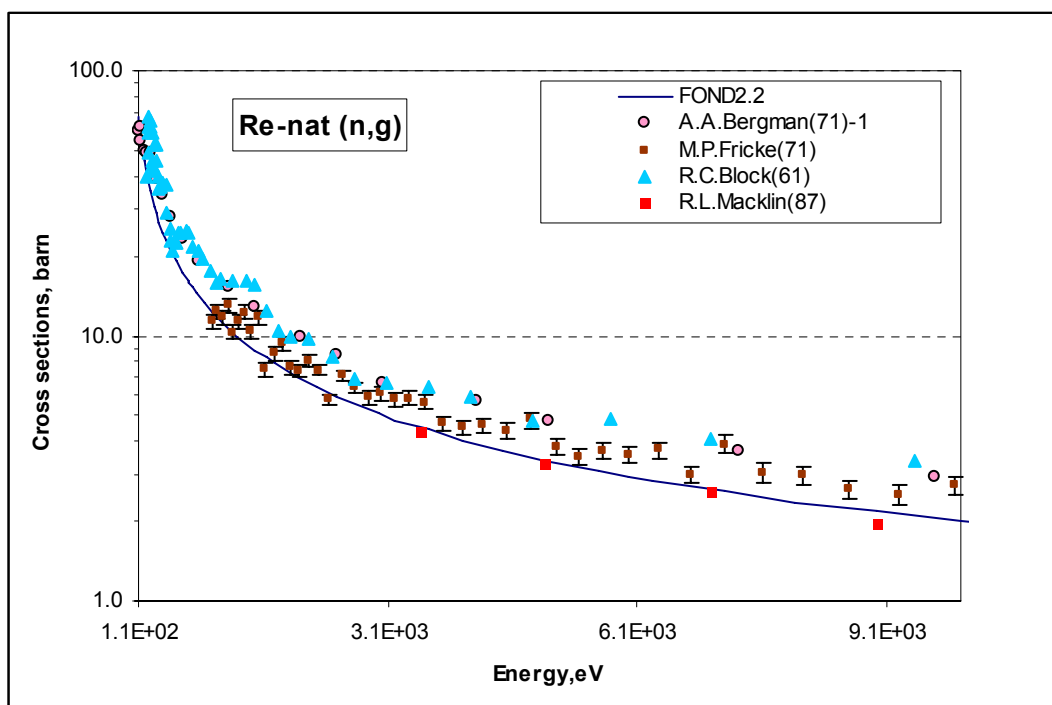


Рис.9

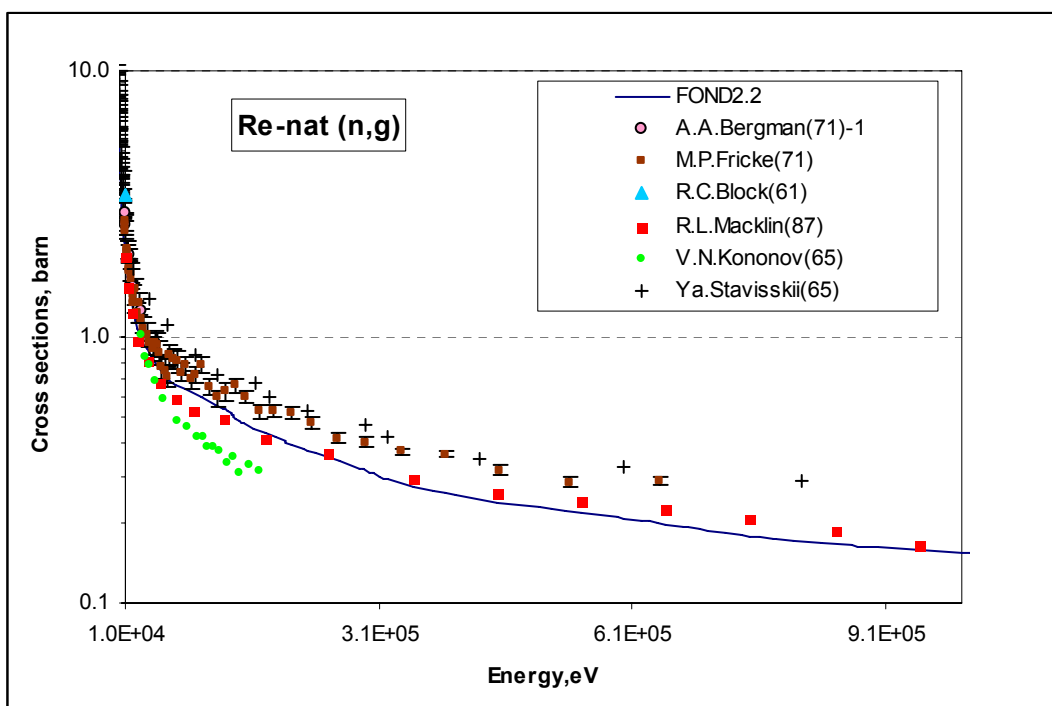


Рис.10

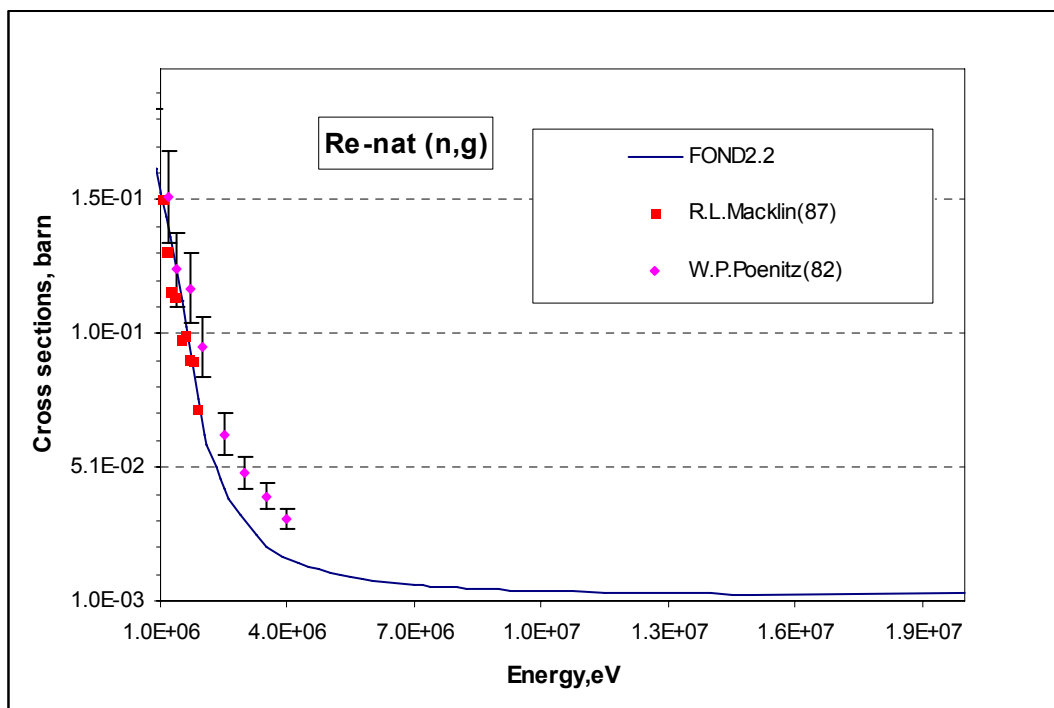


Рис.11

Заключение

Из анализа и сравнения данных оценки FOND2.2 и экспериментов можно сделать вывод, как о качественной и надежной оценки. Однако, для РОСФОНДа файлы изотопов было решено взять из ENDF/B-7, как более современные оценки. И на будущее естественно было бы получить натуральный материал из этих оценок.

На рис.12(а-с) приводится сравнение на мультигрупповом (299 групп) уровне полного сечения, полученного из файла Re-nat и его изотопов из ENDF/B-7. Видно, что есть значительные расхождения, особенно в области неразрешенных резонансов.

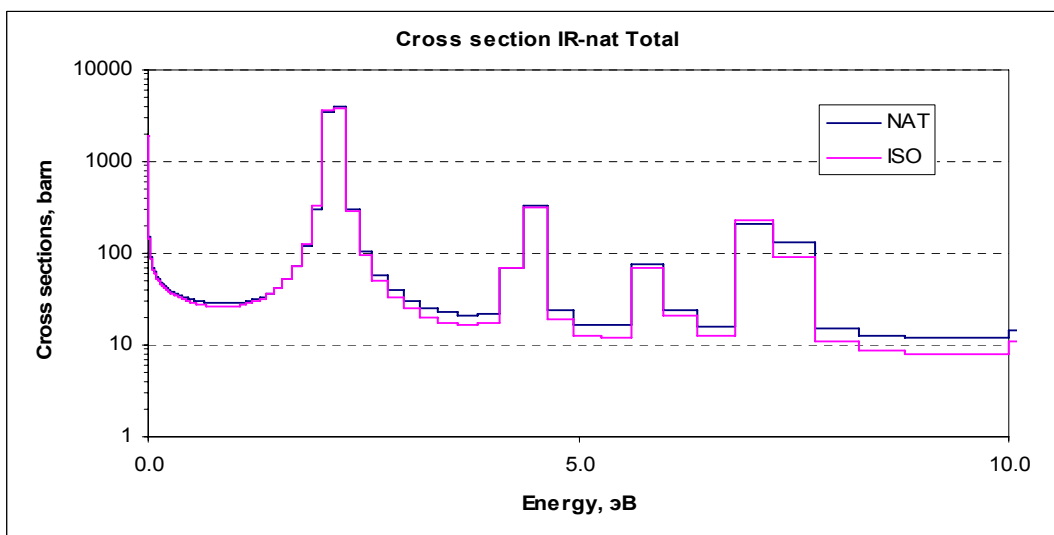


Рис.12а

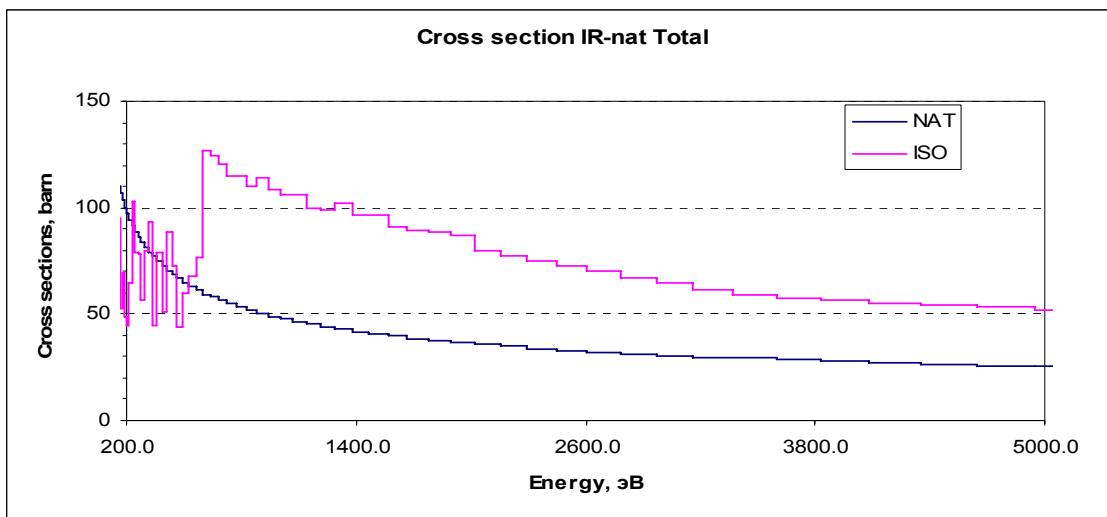


Рис.12b

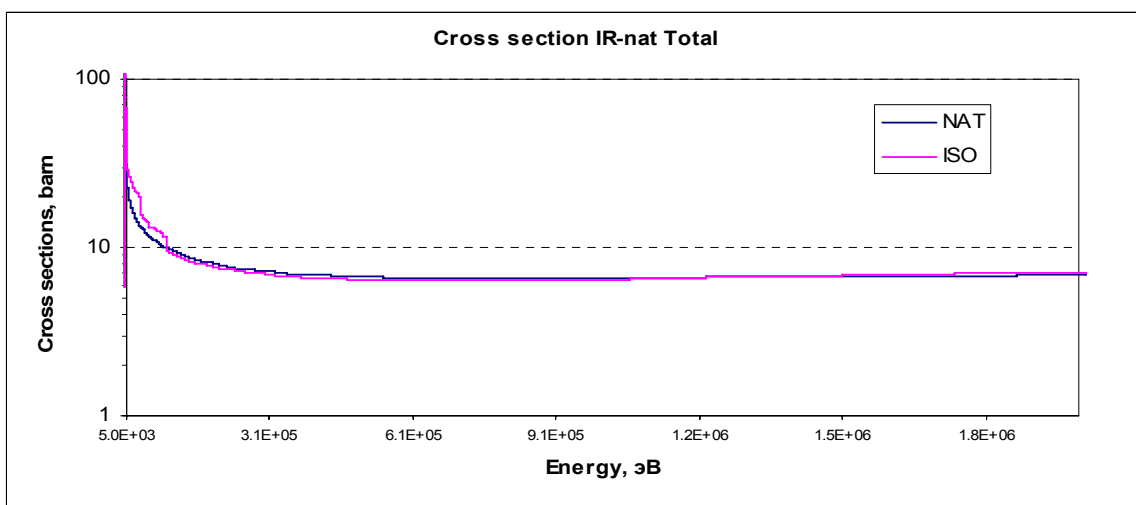


Рис.12с

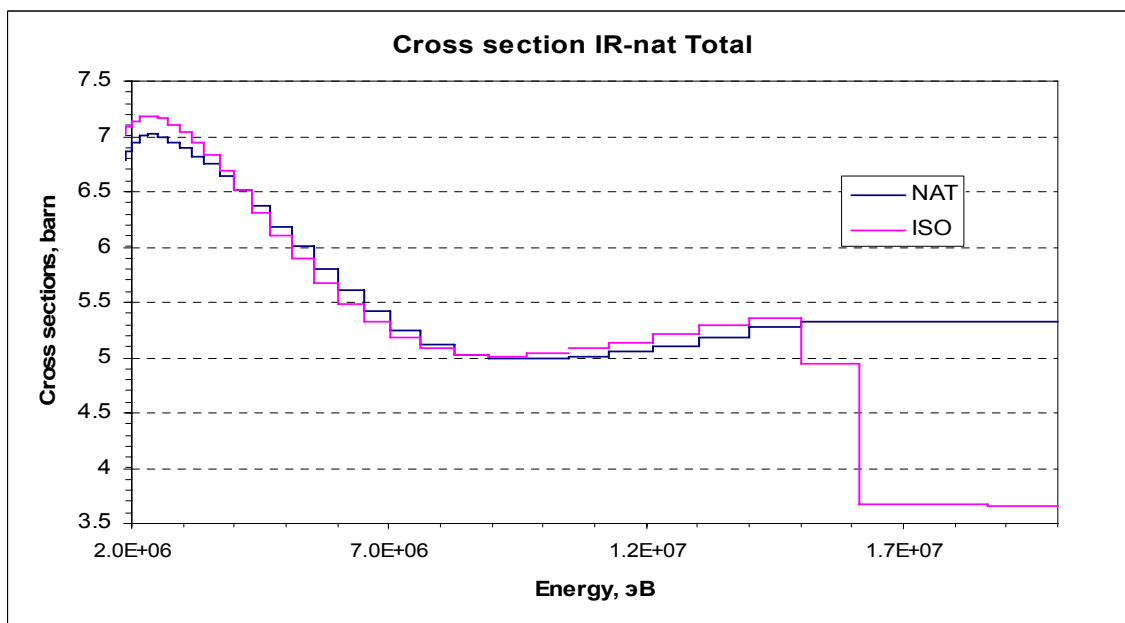


Рис.12d

Сечения основных реакций из FOND2.2 на интегральных спектрах приведены в нижеследующей таблице.

	Total	Elastic	Inelastic	(n,2n)	(n,3n)	(n, γ)
0.0253 эВ	103.5	14.0				89.4
Резонансный интеграл	1164.2	336.1				828.0
Спектр деления ²³⁵ U	6.82	4.69	2.00	0.01	4.2E-05	0.13
14 МэВ	5.23	2.71	0.88	1.60	0.04	3.7E-03

В РОСФОНД файл Re-nat не включается.

Автор рекомендации
Забродская С.В.