

77. ИРИДИЙ

77.0 Общие замечания

В этом разделе описаны: два стабильных и семь радиоактивных изотопов иридия с периодом полураспада более суток.

77.1. Иридий-188.

Радиоактивен. Испытывая захват орбитального электрона распадается с периодом $T_{1/2}=13.2$ дн. в стабильный осмий-188. Образование этого нуклида в реакторе весьма маловероятно: единственными реакциями, ведущими к его образованию, являются $^{190}\text{Pt}(n,t)$ и $^{190}\text{Pt}(n,nd)$. Напомним, что содержание платины-190 в естественной смеси составляет лишь 0.01%.

Нейтронные сечения для иридия-188 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 $(n,3n)$, (n,α) 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 секциями MT=22, 106 с вероятностями образования рения-184 и рения-186 в основных и долгоживущих изомерных состояниях. Вероятности рассчитать по данным файла MF=10. Сформировать файл MF=9 с секцией MT=22, содержащей вероятности образования. Файл MF=10 исключить.

Автор рекомендации

Забродская С.В.

77.2. Иридий-189.

Радиоактивен. Испытывая захват орбитального электрона, распадается с периодом $T_{1/2}=13.3$ дн. в стабильный осмий-189 (частично – через короткоживущий изомер). Образование этого нуклида в реакторе весьма маловероятно: единственными реакциями, ведущими к его образованию, являются $^{190}\text{Pt}(n,d)$ и $^{190}\text{Pt}(n,np)$. Напомним, что содержание платины-190 в естественной смеси составляет лишь 0.01%.

Нейтронные сечения для иридия-189 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,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=107 с вероятностями образования рения-186 в основном и долгоживущем изомерном состояниях. Вероятности рассчитать по данным файла MF=10. Файл MF=10 исключить.

Автор рекомендации

Забродская С.В.

77.3. Иридий-190g.

Радиоактивен. Испытывая захват орбитального электрона, распадается с периодом $T_{1/2}=11.78$ дн. в стабильный осмий-190. Образование этого нуклида в реакторе весьма маловероятно: единственными реакциями, ведущими к его образованию, являются $^{190}\text{Pt}(n,p)$. Напомним, что содержание платины-190 в естественной смеси составляет лишь 0.01%.

Нейтронные сечения для иридия-190 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,inl), (n,na), (n,np), (n,p), (n,d) и (n, ^3He), 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 секцию MT=22 с вероятностями образования в основном и долгоживущем изомерном состояниях. Вероятности рассчитать по данным файла MF=10. Файл MF=10 исключить.

Автор рекомендации

Забродская С.В.

77.4. Иридий-191.

Содержание в естественной смеси 37.3%.

На данный момент существуют оценки Ir-191 в следующих библиотеках:
в FOND2.2 находится оценка М.Н. Николаева, С.В.Забродской 1993 года.
в ENDF/B-7 - оценка из ENDF/B-6 R.Q.WRIGHT, R.R.SPENCER, сделанная 1995 году.
в JEFF3.1 взята оценка из ENDF/B-7.
в EAF2003 - Forrest, Kopecky, 2003 (JEFF3.0/A)

В остальных библиотеках файлов для Ir191 нет. Надо отметить, что оценка FOND2.2, была взята за основу во всех остальных библиотеках.

На рис. 1 приводится полное сечение в тепловой области. Видно, что все данные оценок совпадают и согласуются с экспериментальными данными из EXFOR. В тепловой точке – это давний эксперимент Н.Волотина(1959), в тепловой области – экспериментальные данные В.П.Вертебного(1980).

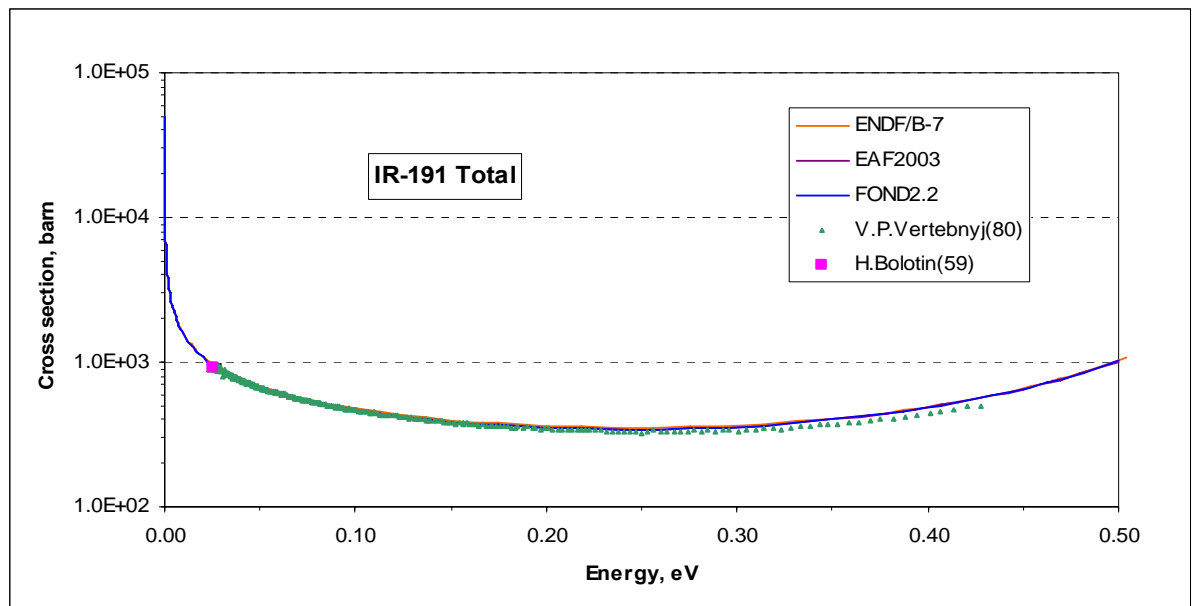


Рис.1 Полное сечение Ir-191

В оценке FOND2.2 до 160 эВ присутствует только область разрешенных резонансов. Параметры разрешенных резонансов для нее были взяты из работы Мухабхаба 1981года. Эта область вошла в оценку ENDF/B-7 без изменений. Но дополнительно была введена область неразрешенных резонансов до 10 КэВ.

На рис.2-9 приводится в деталях сечение радиационного рассеяния в сравнении с экспериментальными данными. На рис.2 представлены экспериментальные данные в тепловой точке, которые не противоречат друг другу и оцененному значению.

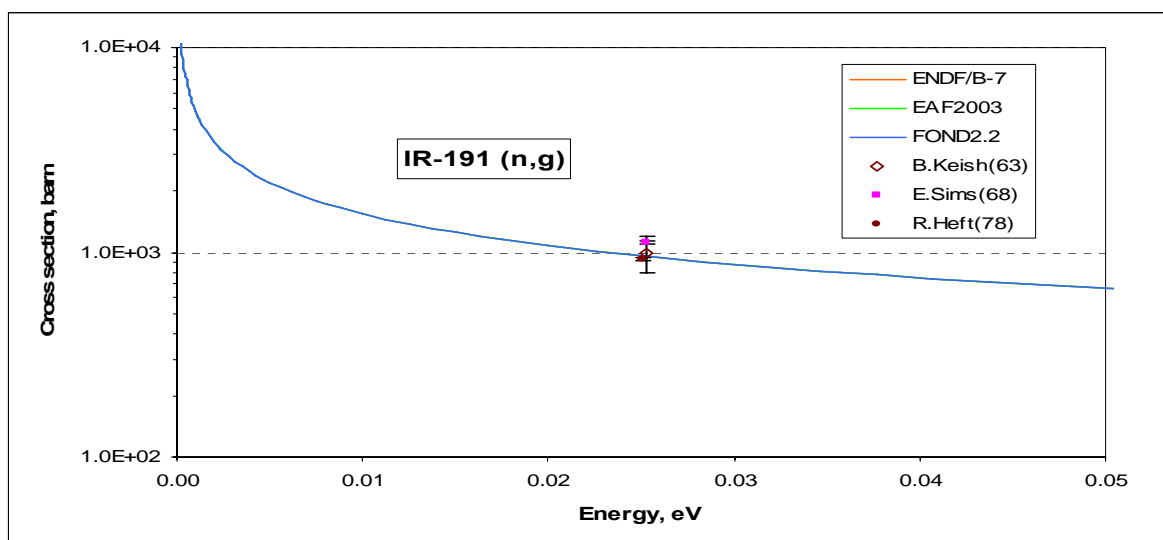


Рис.2

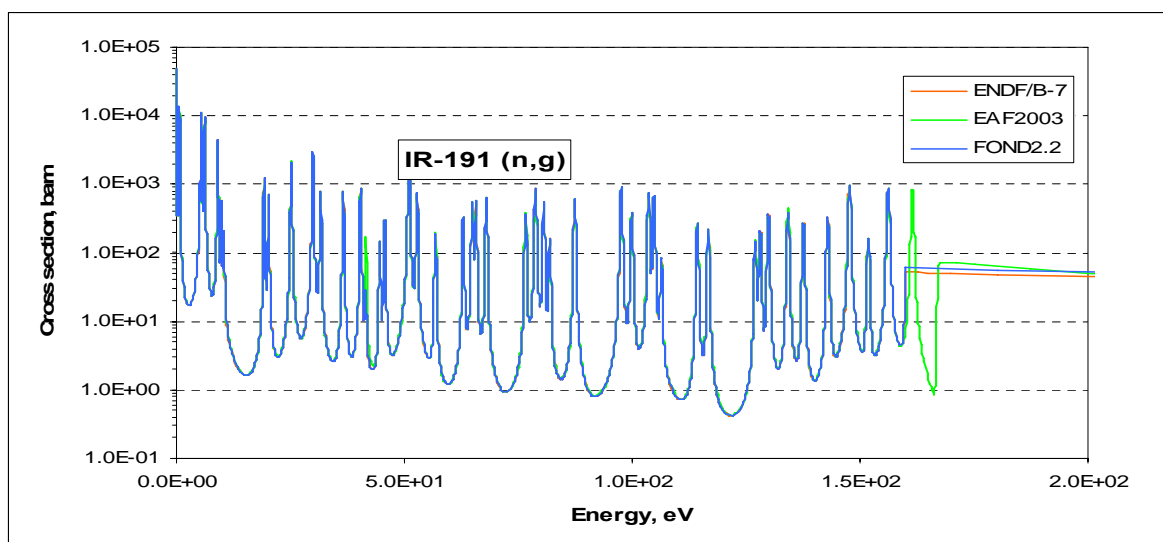


Рис.3

На рис.3 видна граница области разрешенных резонансов в 160 эВ. В этой области нет экспериментальных данных. Экспериментальные данные появляются от 3.5 кэВ, и основным экспериментом по полноте данных является эксперимент R.Macklin(1978). Измерения в этом эксперименте проводились до 1.95 МэВ. На рис.4 и 5 видно, что оцененные данные FOND2.2, ENDF/B-7 и EAF2003 хорошо согласуются с этим экспериментом в области до 100 кэВ. После 100 кэВ оценка EAF2003 резко уходит вниз до 1 МэВ.

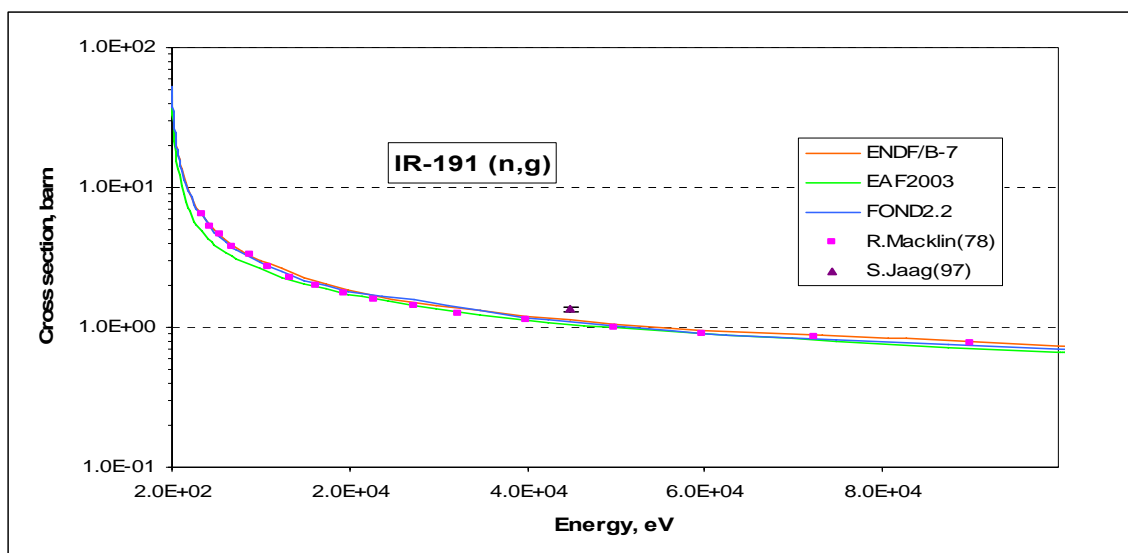


Рис.4

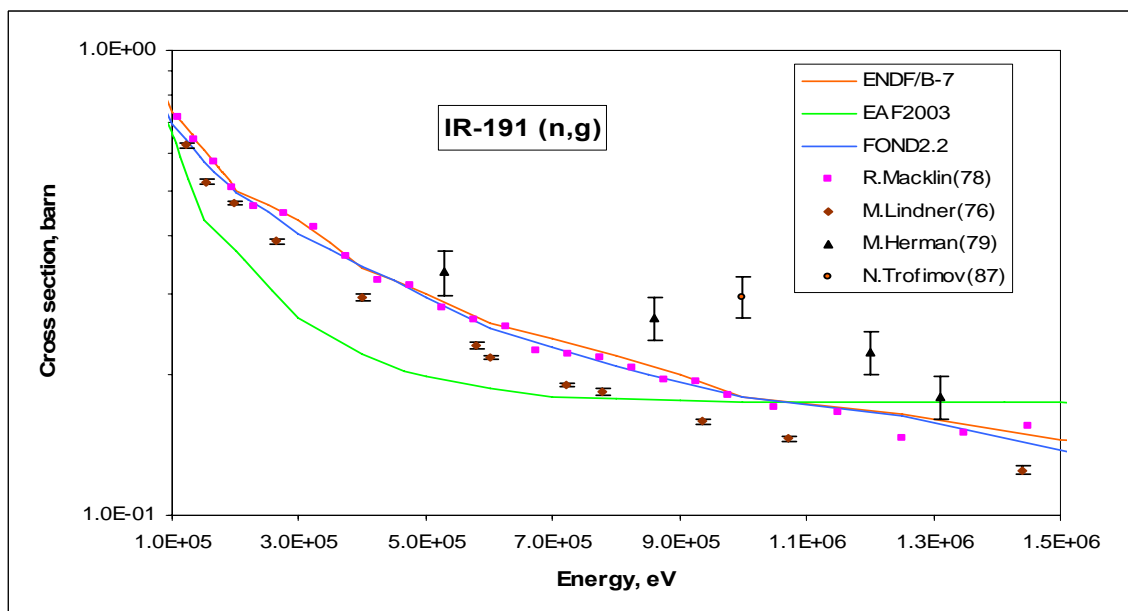


Рис.5

При энергии 1 МэВ начинается расхождение между библиотеками FOND2.2 и ENDF/B-7, которое сохраняется до 20 МэВ. Отметим, что при этом оценка ENDF/B-7 остается в согласии с экспериментом R.Macklin(1978)(рис.6).

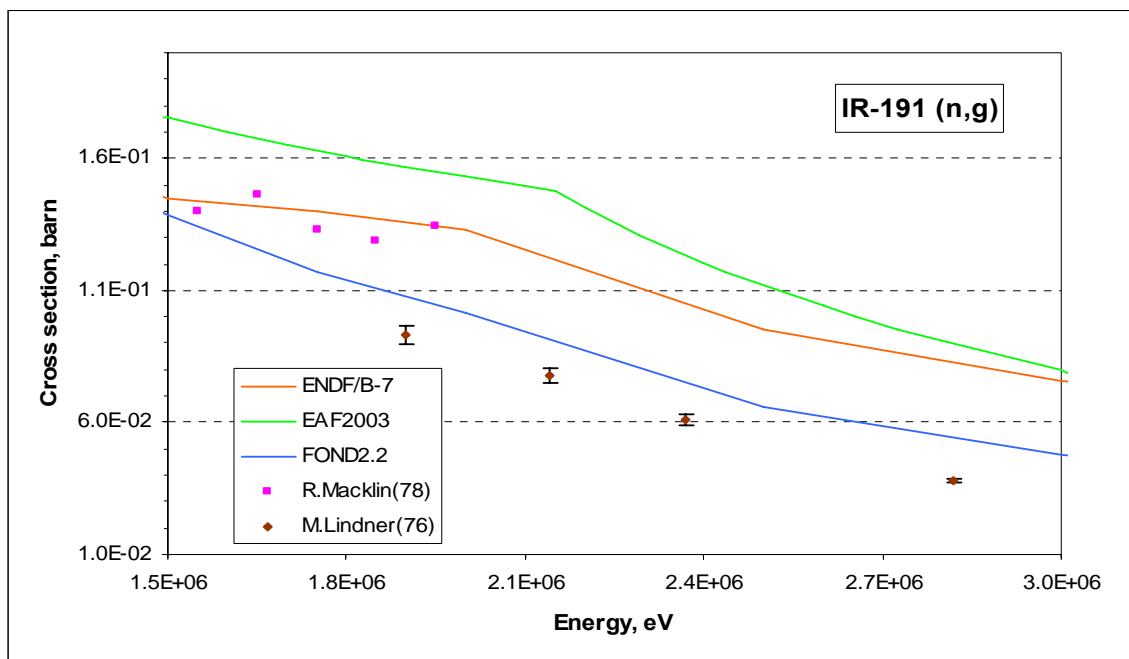


Рис.6

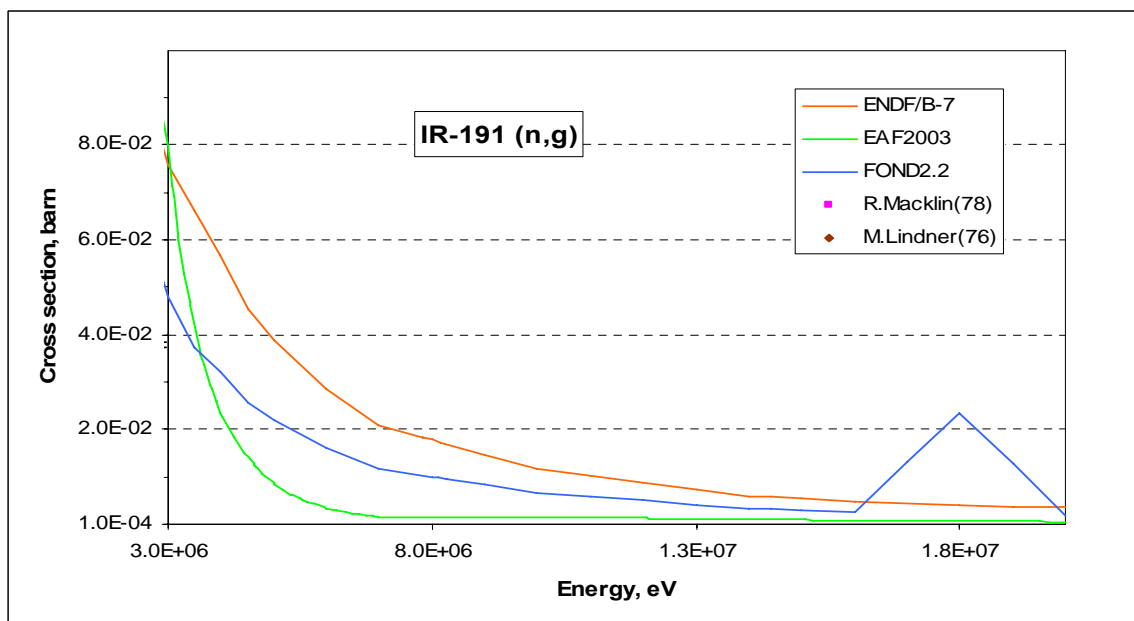


Рис.7

На рис. 7 в сечении захвата из оценки FOND2.2 наблюдается пик, обусловленный ошибкой.

Заключение

В РОСФОНД принимается оценка R.Q.WRIGHT, R.R.SPENCER 1995 (ENDF/B-VIIb1.2), как наиболее современная и полная оценка для Ir-191. В этот файл следует добавить данные об образовании иридия-192 в основном и в изомерных состояниях (MF=9, MT=102), используя для этого данные из соответствующей секции файла MF=10 EAF-2003.

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)	(n,p)	(n,a)
0.0253 эВ	ENDF/B-7	9.69E+02	1.40E+01				9.55E+02		
	EAF-2003	9.55E+02					9.55E+02		
	FOND-2.2	9.55E+02					9.55E+02		
Резонансный интеграл	ENDF/B-7	3.86E+03	3.07E+02	1.37E-2			3.56E+03		
	EAF-2003	3.55E+03					3.55E+03		
	FOND-2.2	3.56E+03					3.56E+03		
Спектр деления ^{235}U	ENDF/B-7	6.67	4.01	2.47	6.42E-03	1.40E-05	0.19	8.92E-6	2.74E-05
	EAF-2003					1.29E-05	0.16		
	FOND2.2				5.78E-03	1.75E-05	0.17	1.27E-5	3.73E-05
14 МэВ	ENDF/B-7	5.21	2.79	0.20	2.20		6.08E-03	4.20E-3	7.90E-03
	EAF-2003						1.14E-03		
	FOND-2.2				2.45		3.43E-03	4.24E-3	3.07E-03

Автор отбора данных

Забродская С.В.

77.5. Иридий-192g.

Радиоактивен. Испытывая изомерный переход с периодом $T_{1/2}=241$ год в радиоактивный иридий-192n.

Нейтронные сечения для иридия-192 оценены, исходя из теоретических соображений, и содержатся в библиотеке EAF-2003 (оценка 2005 г.).

Закключение

В РОСФОНД следует включить файл данных из EAF-2003. Данные о сечениях реакций 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 секциями MT= 17 и MT=102, с вероятностями образования иридия-190 и иридия-193 в основных и долгоживущих изомерных состояниях. Вероятности рассчитать по данным файла MF=10.

Исключить секцию MF=3/4, дублирующую данные секции MF=10/4.

77.6. Иридий-192n.

Радиоактивен. Испытывая захват орбитального электрона распадается с периодом $T_{1/2}=74.02$ суток в стабильный осмий-192.

Нейтронные сечения для иридия-192 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, 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 секции MT=17, 102 с вероятностями образования иридия-190 и иридия-193 в основных и долгоживущих изомерных состояниях. Вероятности рассчитать по данным файла MF=10.

Исключить секцию MF=3/4, дублирующую данные секции MF=10/4.

77.7. Иридий-193g

Содержание в естественной смеси - 62.60%.

Заметим, что ситуация с данными для Ir-193 аналогична случаю с первым стабильным изотопом Ir-191.

Для Ir-193 существуют оценки тех же авторов в следующих библиотеках:
в FOND2.2 находится оценка М.Н. Николаева, С.В.Забродской 1993 года.
в ENDF/B-7 - оценка из ENDF/B-6 R.Q.WRIGHT, R.R.SPENCER, сделанная 1995 году.
в JEFF3.1 взята оценка из ENDF/B-7.
в EAF2003 - Forrest, Korecky, 2003 (JEFF3.0/A)

В остальных библиотеках файлов Ir193 нет. Оценка FOND2.2 была взята за основу во всех остальных библиотеках.

На рис.1 приводится полное сечение в тепловой области. Для Ir-193 в тепловой точке есть один эксперимент Н.Болотина(59), через который точно проходит оценка EAF2003. Следующий эксперимент В.П.Вертебного(1980) – более детальный и ближе к нему находится оценка ENDF/B-7.

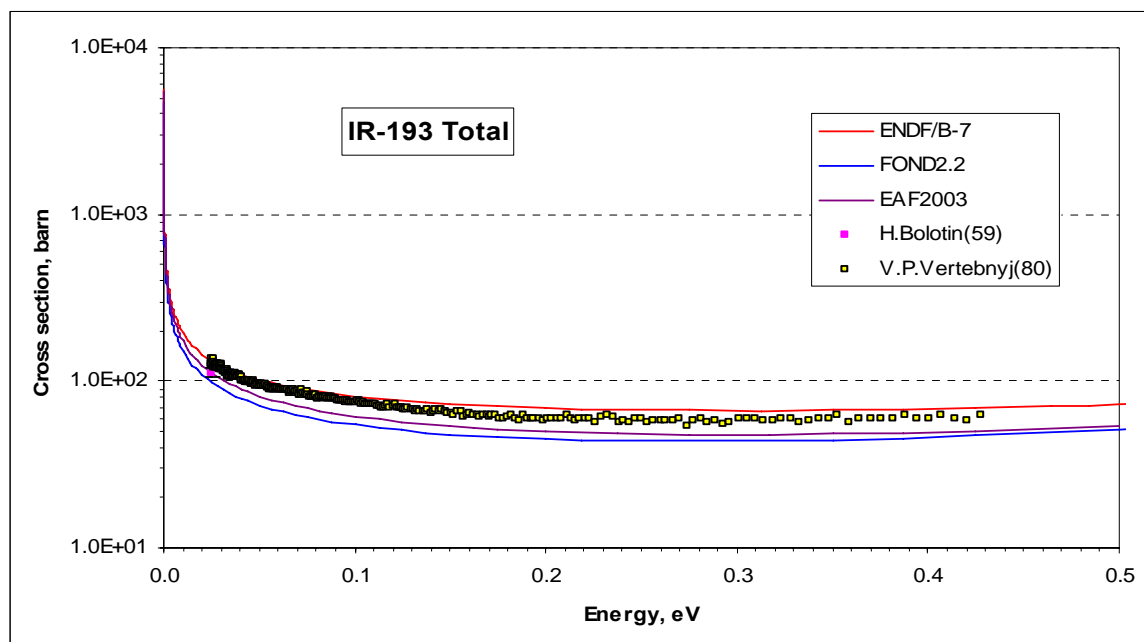


Рис.1

В FOND2.2 приводится только область разрешенных резонансов до 300 эВ. Параметры разрешенных резонансов были взяты из Мухабхаба 1981года. В ENDF/B-7 введена еще область неразрешенных резонансов до 10 кэВ.

На рис.2-9 приводится сечение радиационного захвата для Ir-193. На рис.2 в тепловой точке представлено много экспериментальных данных. В оценках были отданы предпочтение следующим оценкам: FOND2.2 – В.Keish(1963), ENDF/B-7, EAF2003 – R.E.Helf(1978).

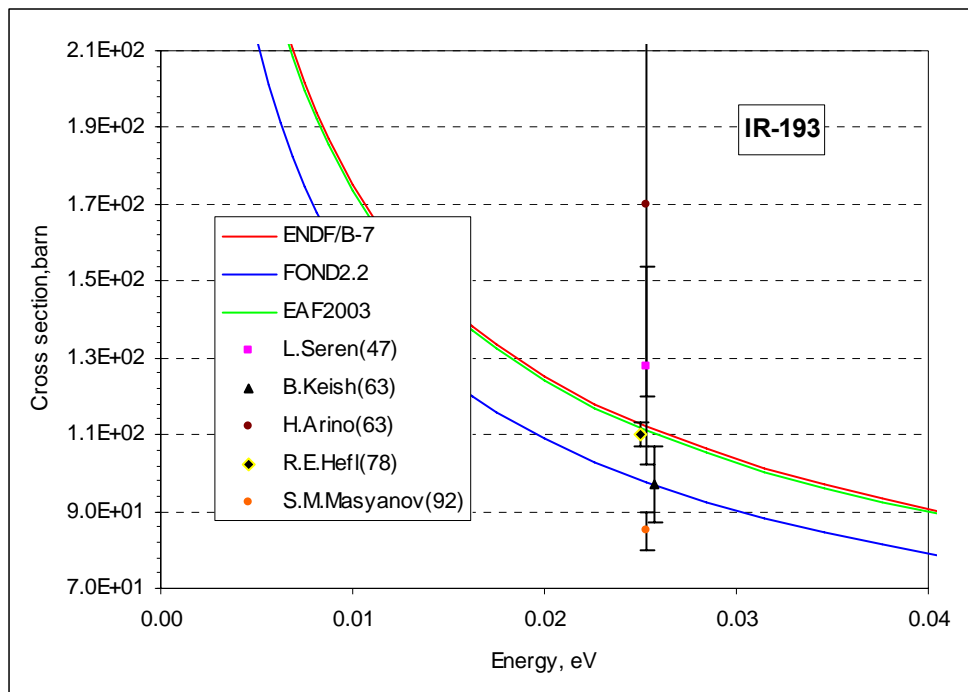


Рис.2

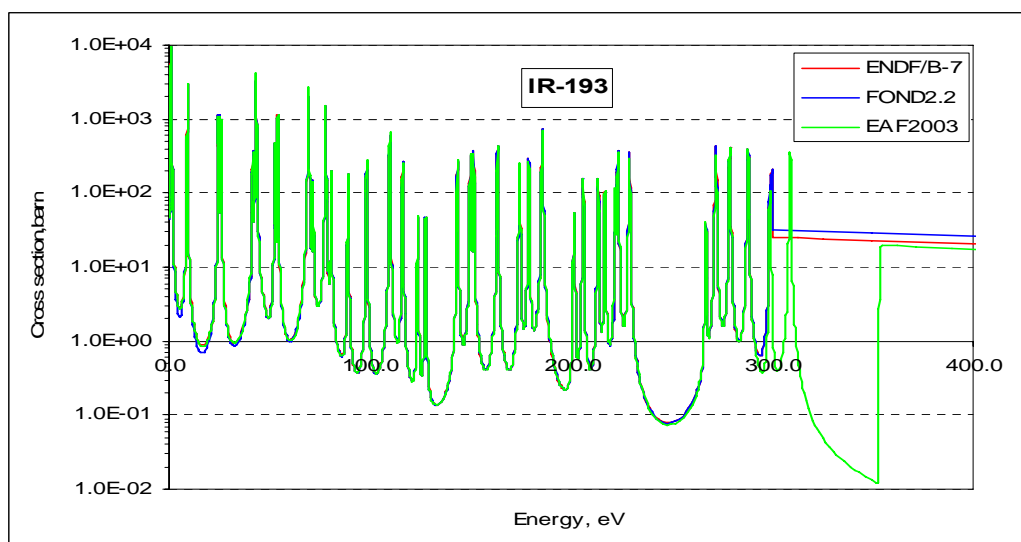


Рис.3

Дальше по энергии экспериментальных данных нет. На рис.3 видно, что в библиотеки EAF2003 область разрешенных резонансов увеличена до 350 эВ.

Как и для Ir-191 основным экспериментом является эксперимент L. Maclin(1978). Хотя, кроме этих данных, приводятся и другие эксперименты. Кривые всех оценок в основном практически повторяют друг друга в этой области и больших расхождений не наблюдается.

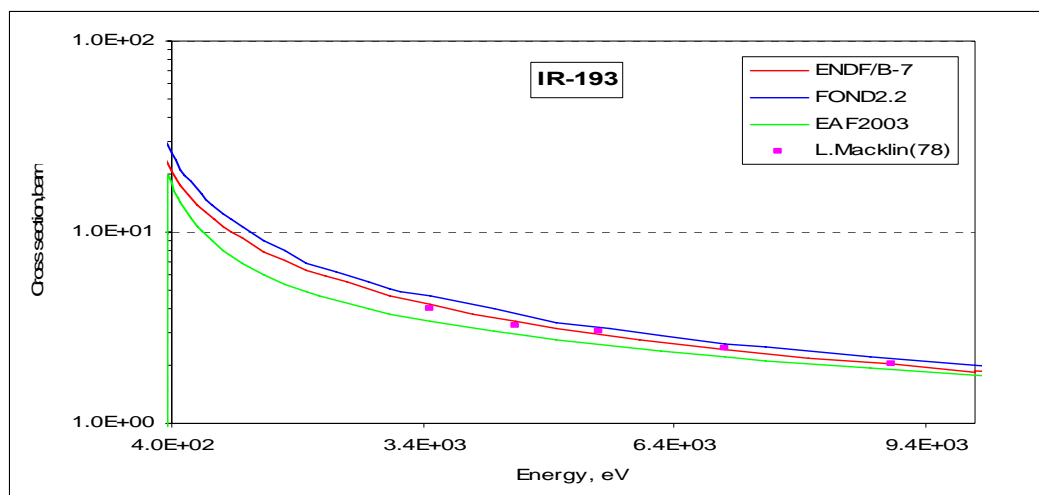


Рис.4

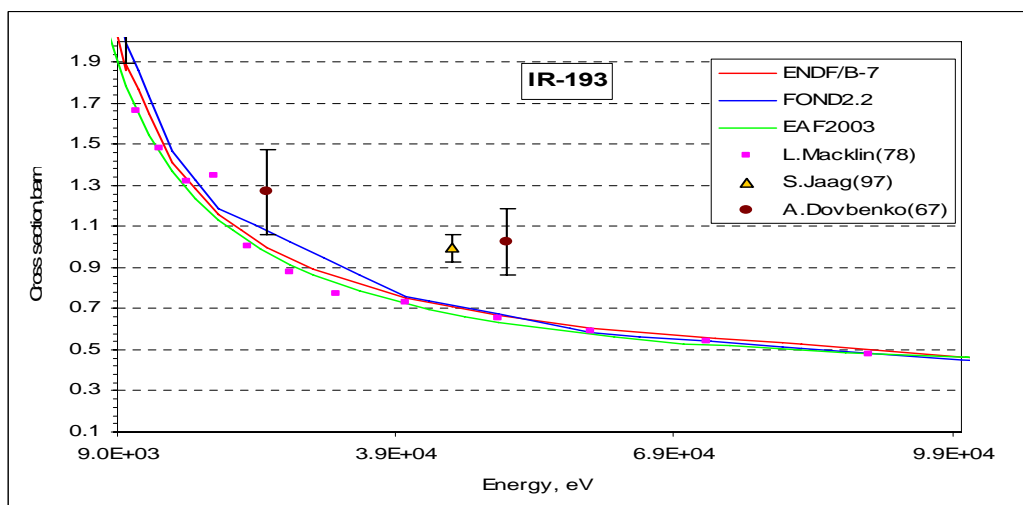


Рис.5

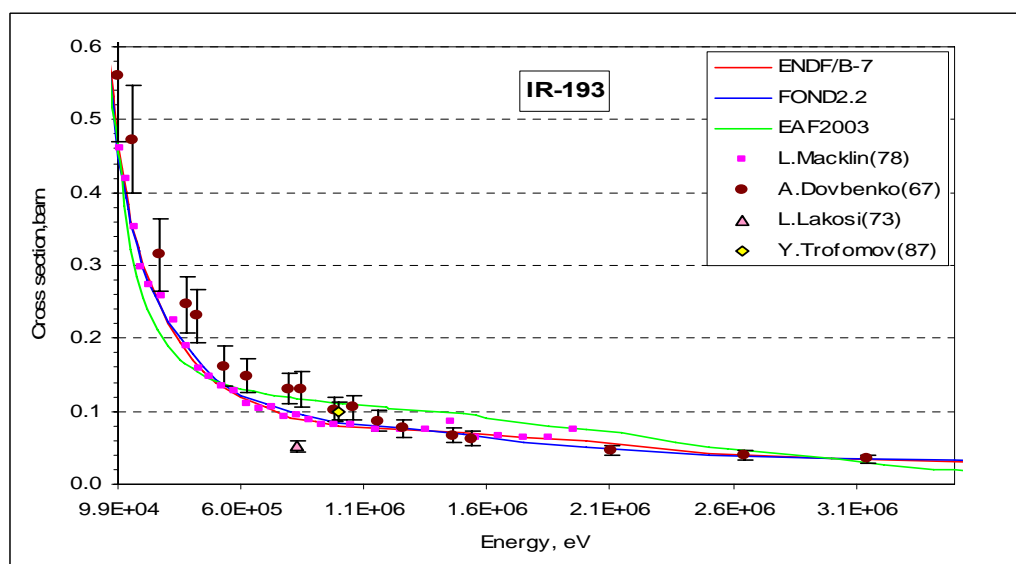


Рис.6

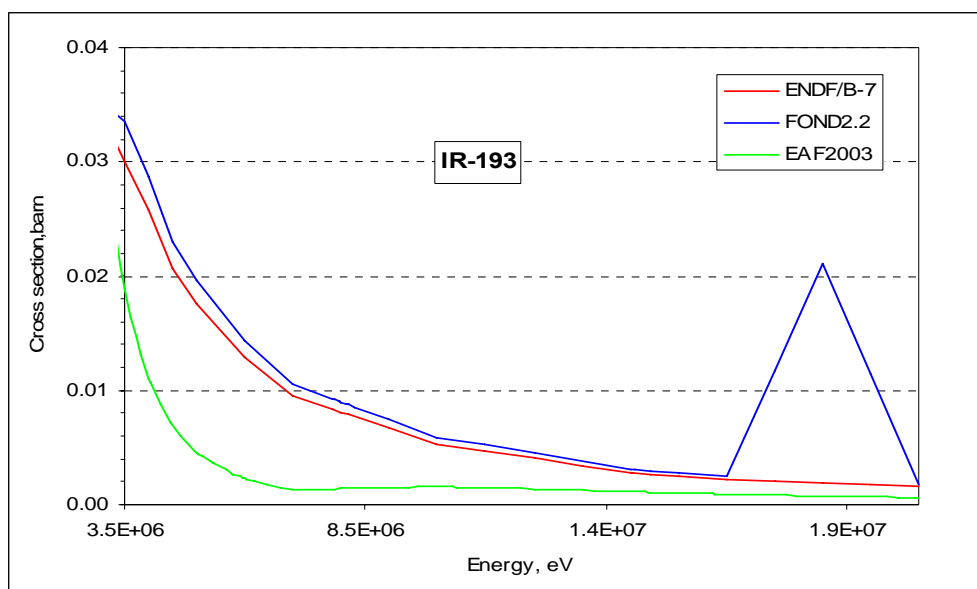


Рис.7

На рис. 7, как и в случае с Ir-191, наблюдается пик, связанный с форматной ошибкой введения данных.

Заключение

В РОСФОНД принимается оценка R.Q.WRIGHT, R.R.SPENCER 1995 (ENDF/B-VIIb1.2), как наиболее современная и полная оценка для Ir-193. В этот файл следует добавить данные об образовании иридия-192 и иридия-194 в основном и в изомерных состояниях (MF=9, MT=16 и MT=102), используя для этого данные из соответствующей секции файла MF=10 EAF-2003.

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)	(n,p)	(n,a)
0.0253 эВ	ENDF/B-7	1.31E+02	1.94E+01				1.12E+02		
	EAF-2003	1.11E+02					1.11E+02		
	FOND-2.2	9.75E+01					9.75E+01		
Резонансный интеграл	ENDF/B-7	1.68E+03	3.00E+02	3.10E-02			1.38E+03		
	EAF-2003	1.37E+03					1.37E+03		
	FOND-2.2	1.38E+03		2.75E-03			1.38E+03		
Спектр деления ²³⁵ U	ENDF/B-7	6.67E+00	4.13E+00	2.44E+0	6.42E-03	1.40E-05	9.15E-02	8.92E-06	2.74E-05
	EAF-2003						9.80E-02		
	FOND2.2			5.25E-01	7.22E-03	6.79E-06	9.22E-02	7.61E-06	2.42E-05
14 МэВ	ENDF/B-7	5.21	2.80	0.20	2.20		2.75E-03	4.20E-03	7.90E-03
	EAF-2003						1.15E-03		
	FOND-2.2			0.16	2.23		3.06E-03	4.49E-03	1.10E-02

Автор отбора данных

Забродская С.В.

77.8. Иридий-193m

Долгоживущий изомер. Испытывая измерный переход с периодом $T_{1/2}=10.53$ д. переходит в основное состояние. В реакторах образуется в результате захвата нейтронов в иридии -192, неупругого рассеяния на иридии-193g и реакции (n,2n) на иридии-194m. В библиотеках общего назначения нейтронные данные для этого изомера отсутствуют. Лишь в библиотеке EAF-2003 содержатся данные о сечениях нейтронных реакций на этом изомере.

Сформировать файл MF=9 с секциями MT=17 и 102 с вероятностями образования иридия-192 и иридия-194 в основных и в изомерных состояниях

Заключение

В РОСФОНД следует включить файл данных из EAF-2003. Данные о сечениях реакций, 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.

Автор рекомендации

Забродская С.В.

77.9. Иридий-194m

Долгоживущий изомер. Испытывая бета-распад с периодом $T_{1/2}=171$ д. превращается в основное состояние. В реакторах образуется в результате захвата нейтронов в иридии -193 и неупругого рассеяния на иридии-194g.

В библиотеках общего назначения нейтронные данные для этого изомера отсутствуют. Лишь в библиотеке EAF-2003 содержатся данные о сечениях нейтронных реакций на этом изомере.

Заключение

В РОСФОНД следует включить файл данных из EAF-2003. Данные о сечениях реакций, 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 файл MF=9 с секциями MT=16 и MT=17 с вероятностями образования иридия-192 и иридия-193 в основных и изомерных состояниях. Сечение перехода в основное состояние перенести из файла MF=3 в файл MF=10.

Автор рекомендации

Забродская С.В.

77.10. Иридий природный

Для Ir-nat существует только одна оценка в FOND2.2., сделанная Николаевым М.Н. и др. в 1990 году.

Для полного сечения Ir-nat оказалось в EXFOR довольно много данных. На рис.1-6 они приведены в различных энергетических интервалах. На рис.1 в тепловой точке и области наблюдается полное согласие экспериментальных данных между собой и с оценкой.

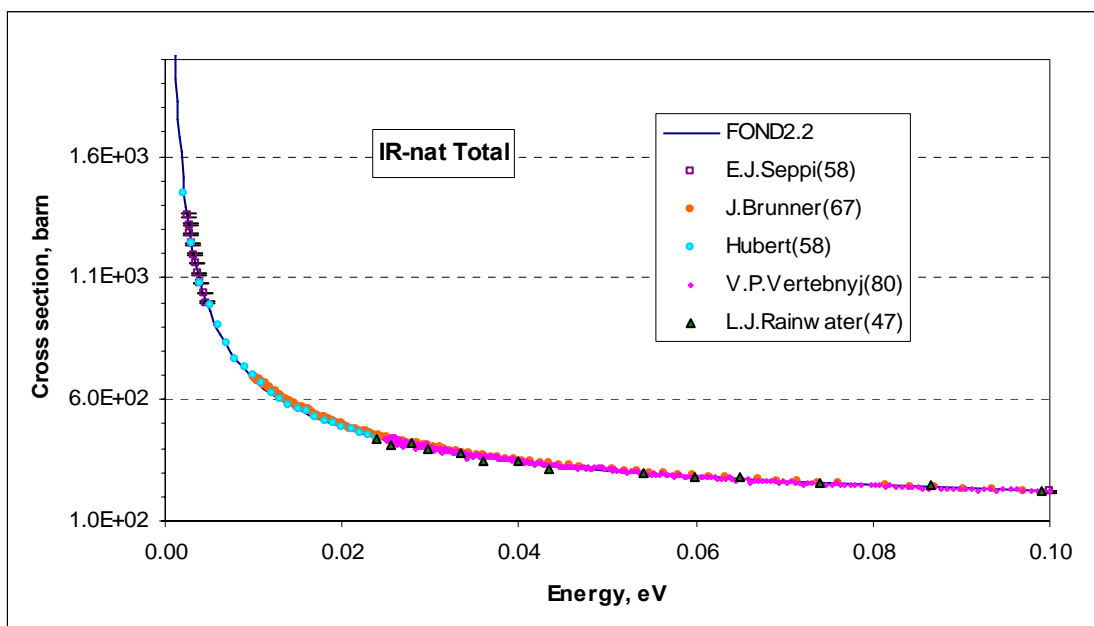


Рис.1

Последующие рисунки приведены без комментария для информации по экспериментальным данным, которые в основном не противоречат оценке.

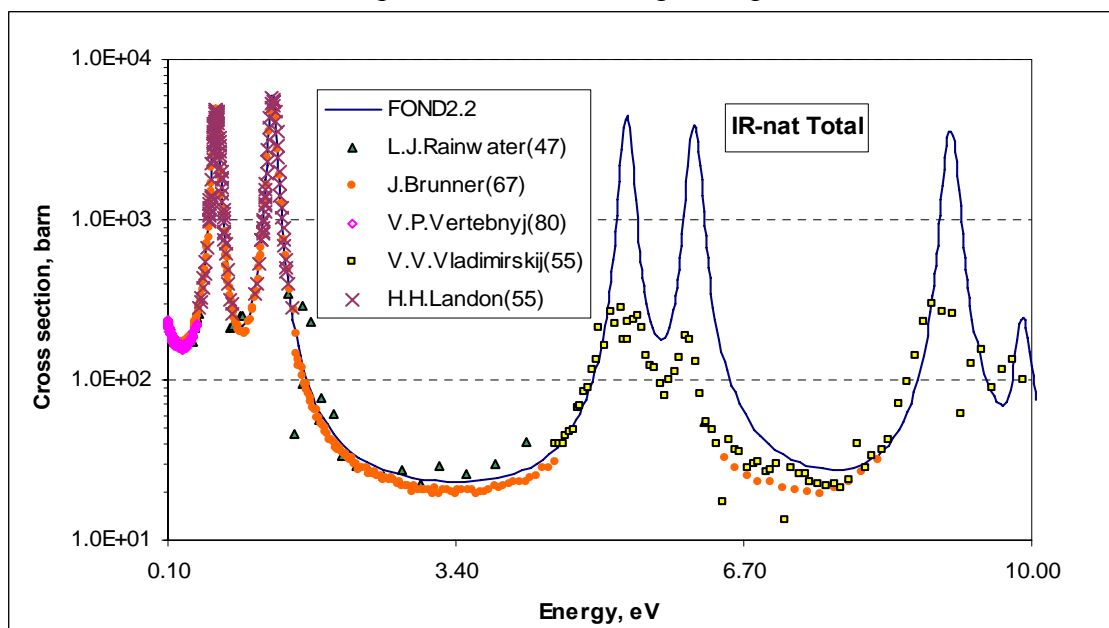


Рис.2

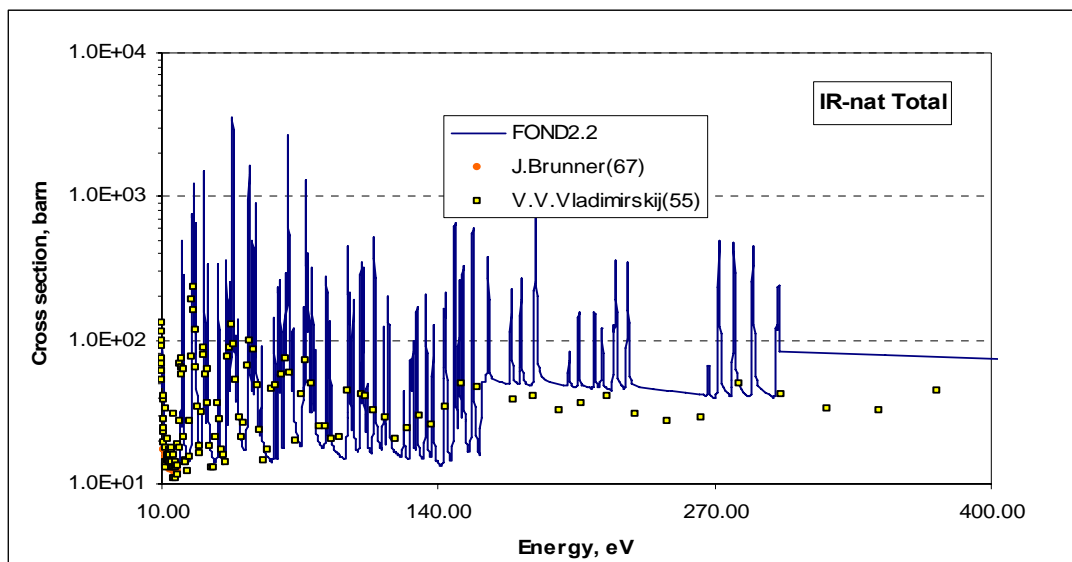


Рис.3

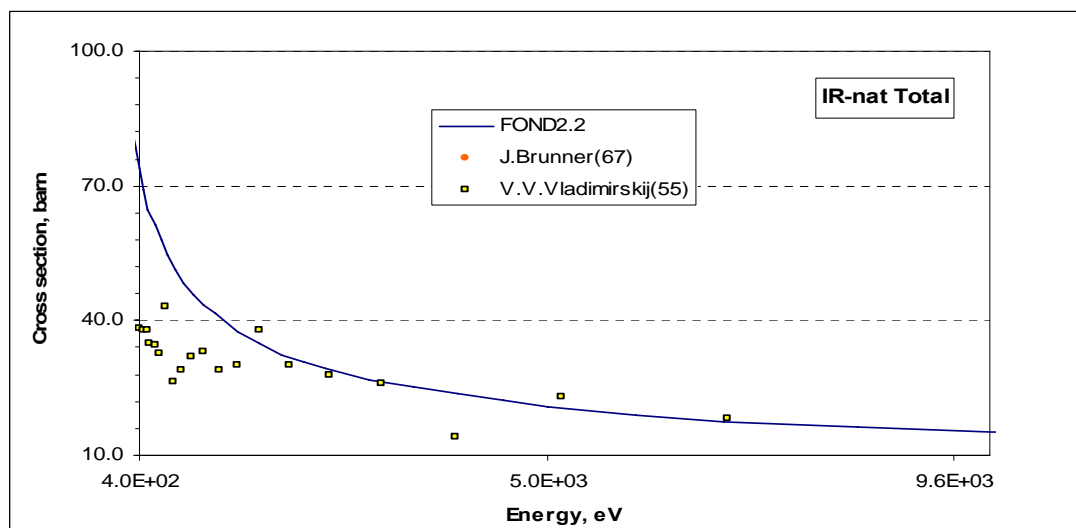


Рис.4

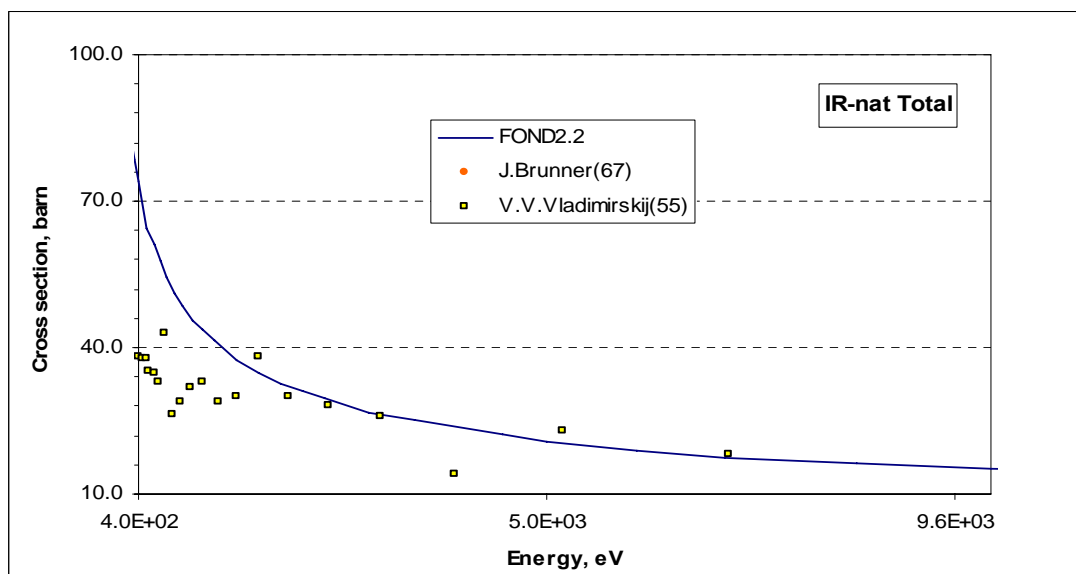


Рис.5

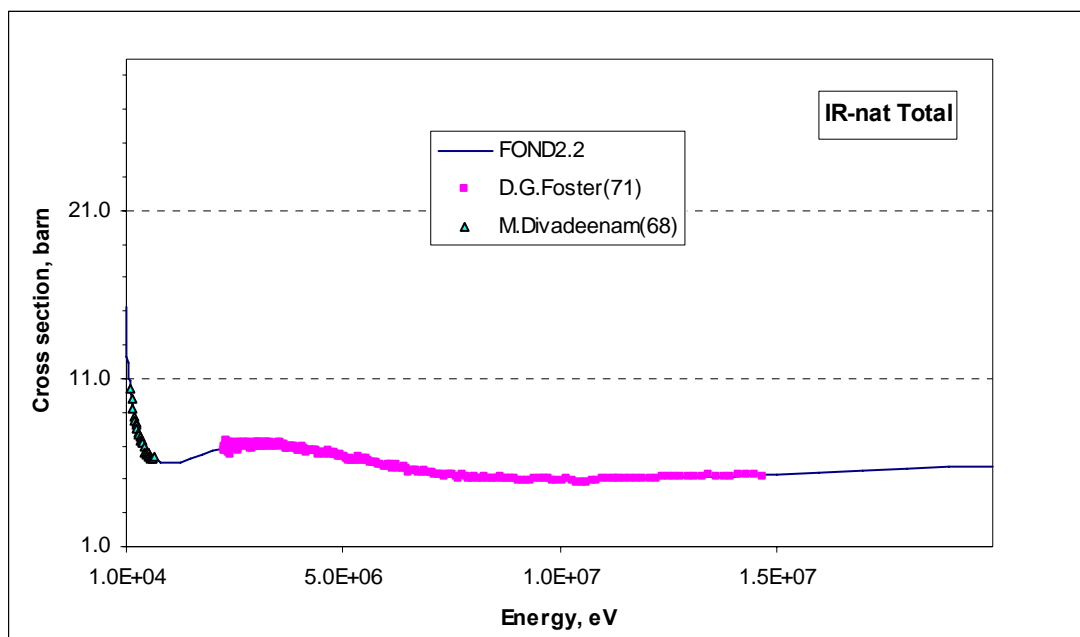


Рис.6

Область разрешенных резонансов для натурального иридия получена из соответствующих областей Ir-191 и Ir-193. Области неразрешенных резонансов нет.

На рис. 7-11 приводится сечение радиационного захвата для Ir-nat. Для этого сечения содержится намного меньше экспериментальных данных. В тепловой точке оценка проходит прямо через экспериментальную точку Н.Ромеранс(1951). В первой серии экспериментальных данных Д.Р.Попова(1962) первый резонанс пропущен.

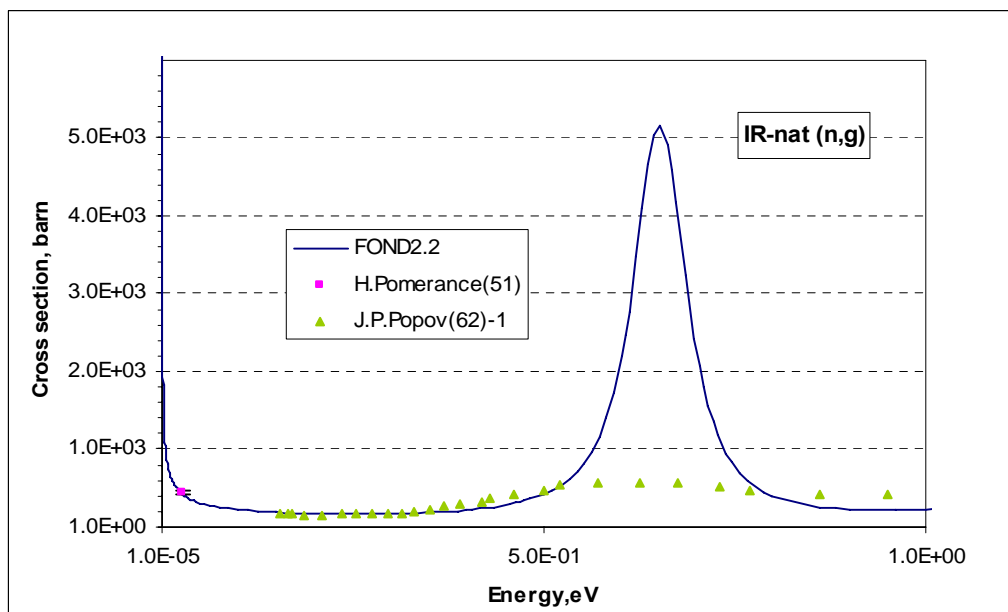


Рис.7

После 1 эВ на рис.8 видны экспериментальные точки второй серии Д.Р.Попова.

Две серии отличались толщинами пластин образцов. В первой серии (зеленый цвет) толщина была 6.3×10^{21} атом/см², во второй – тоньше 0.7×10^{21} атом/см².

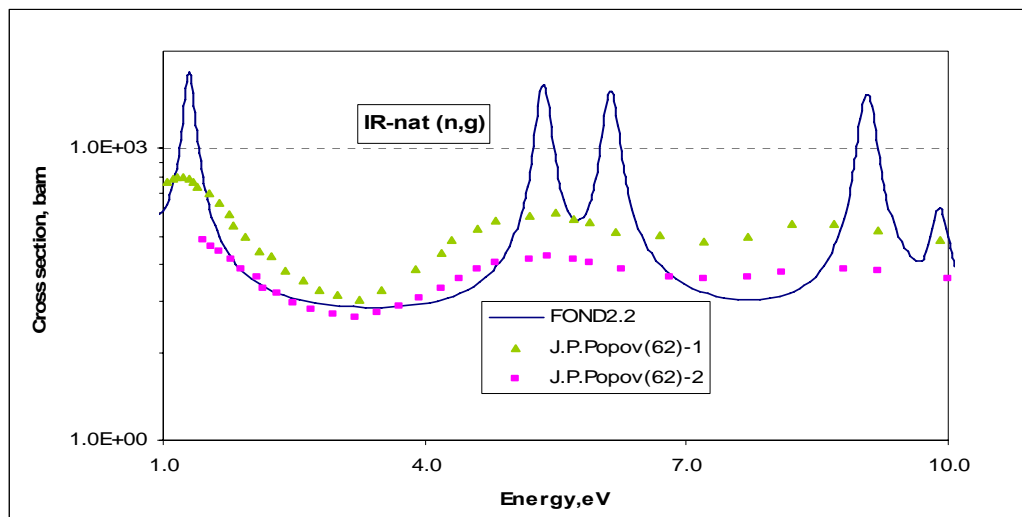


Рис.8

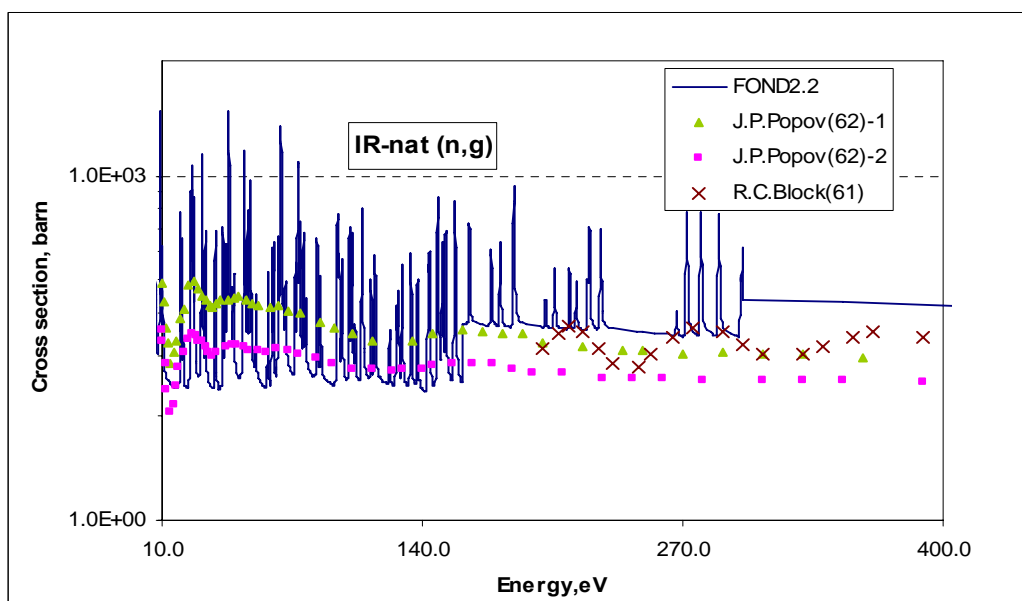


Рис.9

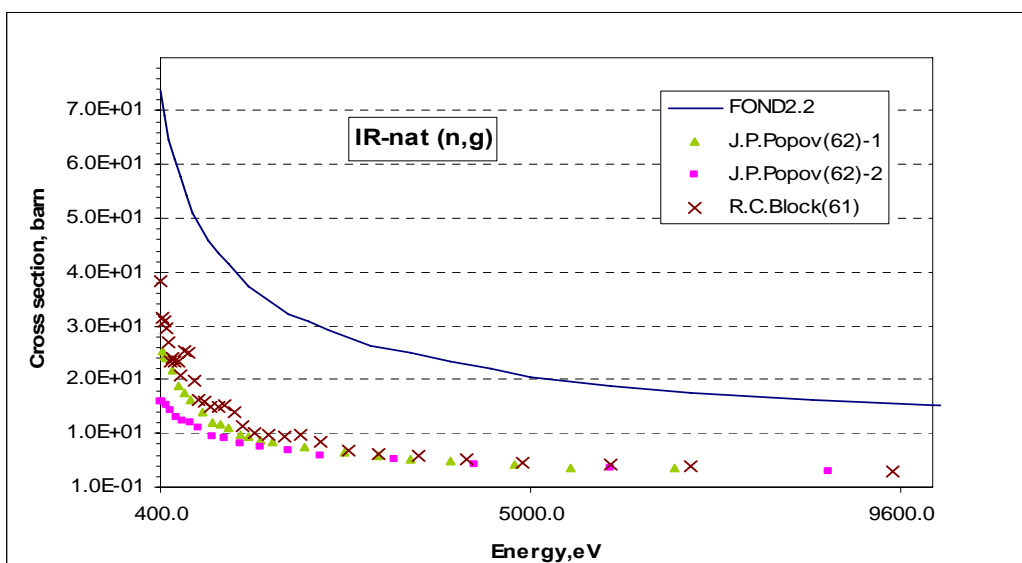


Рис.10

После 160 эВ (граница разрешенной области для Ir91) экспериментальные данные начинают удаляться от оценки вниз. Туже тенденцию на рис.9-11 показывают экспериментальные данные R.C.Block(1961), S.Joly(1979).

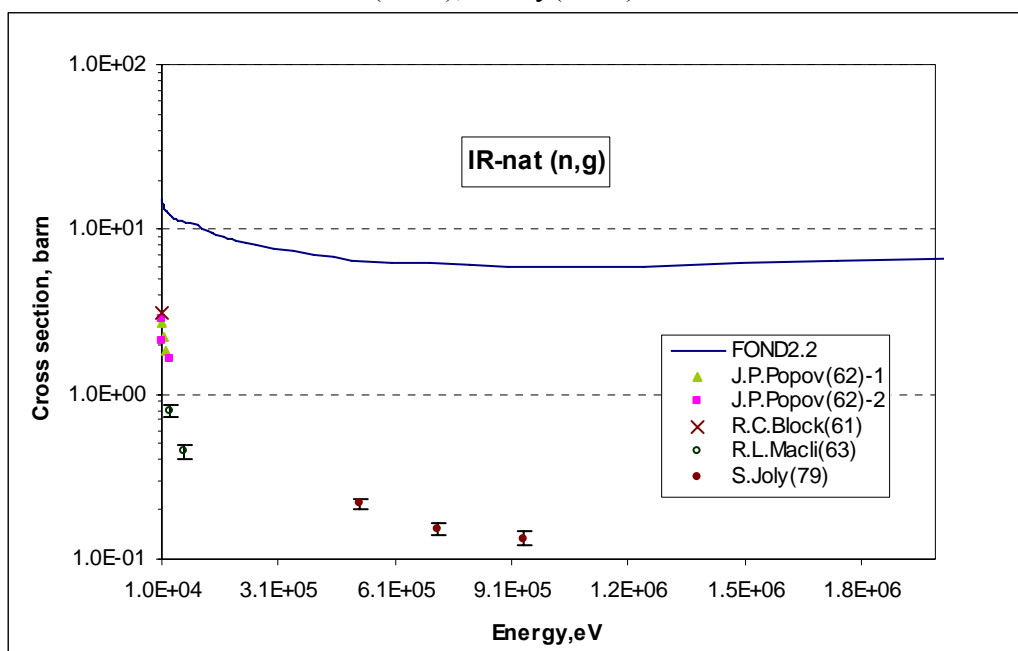


Рис.11

Заключение

Результатом анализа оценки FOND2.2 для Re-nat является вывод о включении в библиотеку РОСФОНД этого файла.

На будущее естественно было бы получить натуральный материал, полученный из современных оценок стабильных изотопов IR-191 и IR-193 из библиотеки ENDF/B-7. На рис.12 приводится сравнение полного сечения в 299-группах, полученных из файла натурального IR и описанных выше файлов стабильных изотопов IR-191 и IR-193. Видно, что больших расхождений нет и, следовательно, можно на данный момент пользоваться файлом Re-nat из FOND2.2., но в РОСФОНД его не включаем.

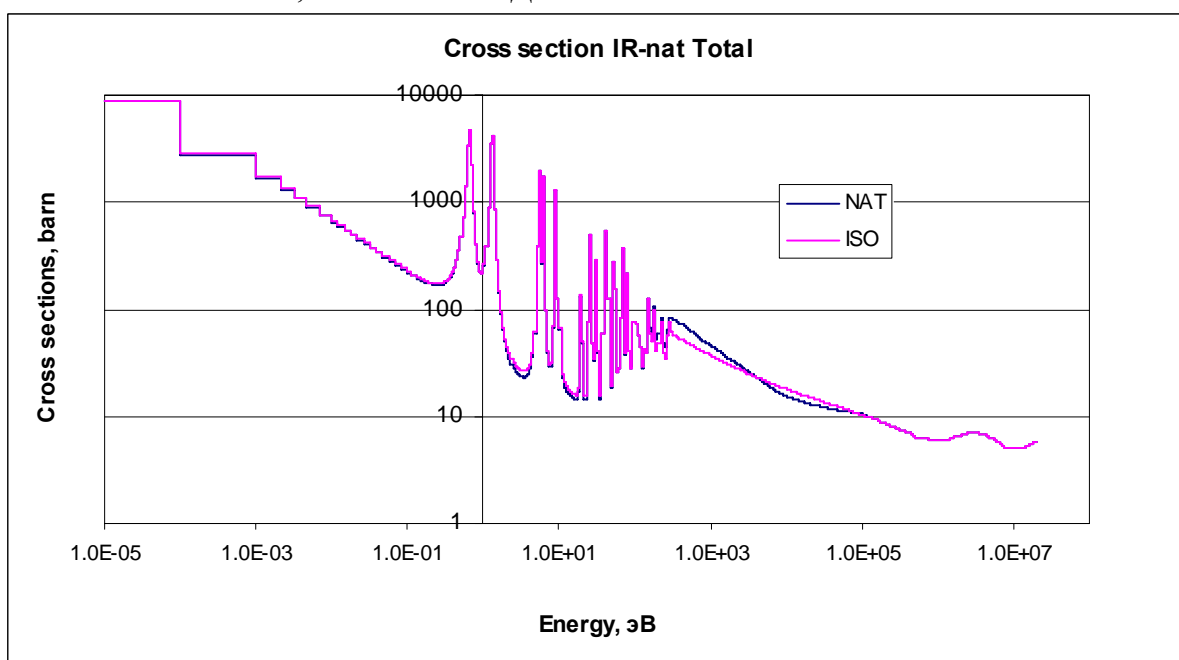


Рис.12

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

	Total	Elastic	Inelastic	(n,2n)	(n,3n)	(n, γ)	(n,p)	(n,a)
0.0253 эВ	432.0	14.7				417.3		
Резонансный интеграл	2507.3	313.2	2.5E-02			2194.1		
Спектр деления ²³⁵ U	6.66	4.09	2.45	6.4E-3	1.40E-5	0.12	8.9E-06	2.7E-05
14 МэВ	5.21	2.80	0.20	2.20		3.2E-03	4.2E-03	7.9E-03

Автор отбора данных
Забродская С.В.