

24. ХРОМ

Природный хром содержит четыре стабильных изотопа:

^{50}Cr - 4.345 %,

^{52}Cr - 83.789 %,

^{53}Cr - 9.501 %,

и ^{54}Cr - 2.365 %.

Существует также один долгоживущий изотоп ^{51}Cr ($T_{1/2}=27.78$ д), данные для которого также представлены в библиотеке РОСФОНД.

24.1. Хром-50

Оцененные данные рассматриваются в диапазоне энергий до 20 МэВ. Различные модификации, выполненные выше 20 МэВ, не комментируются.

Экспериментальные данные, используемые при сравнении с оцененными кривыми, взяты из интерактивной библиотеки EXFOR-CINDA (Database and Retrieval System, version 1.80, June 2005).

Ниже рассматриваются две современные оценки нейтронных данных, а именно – ENDF/B-VII betha1 version и JENDL-3.3. По каждой оценке приводятся краткие пояснения. Отметим, что в библиотеке JEFF-3.1 находится оценка ENDF/B-VI.8=ENDF/B-VIIb1. В библиотеке ФОНД-2.2 находится оценка из БРОНД-2.2, которая явно проигрывает вышеупомянутым оценкам. В дальнейшем сечения из библиотеки БРОНД-2 не рассматривались, поскольку при ее компиляции не учитывались экспериментальные данные, выполненные с высоким разрешением в последующие после оценки годы.

ENDF/B

Последняя версия (ENDF/B-VIIb1) содержит оценку ORNL, выполненную в 1989 году авторским коллективом: D.Larson, C.Perey, D.Hetrick, C.Fu.

Основные моменты:

Используются программы DWUCK, в которой ядерная модель описывается THE DISTORTED WAVE BORN APPROXIMATION (DWBA) и программа TNG, в которой используется формализм Хаузера-Фешбаха.

С помощью TNG получены угловые и энергетические распределения частиц, испускаемых в реакциях по модели компаунд ядра и предравновесного процесса. При этом обеспечивается согласованность между всеми реакциями и обеспечивается энергетический баланс оцененных данных.

Область резонансных энергий от $1.E-5$ эВ до 792 кэВ. Резонансные параметры для формализма Райха-Мура получены на основе частного сообщения группы Бруссегана и др. Резонансные параметры подгонялись под результаты работы Харви и Агравела (1988). В области энергий 325 – 792 кэВ в захват добавляется подложки (MF3, MT102) для согласования с усредненными экспериментальными данными.

Полное сечение выше 792 кэВ получено при анализе нескольких наборов измерений с высоким разрешением, которые также использовались и при получении резонансных параметров.

Сечения первых пяти уровней неупругого рассеяния получены при помощи программы TNG, в которой учитывается вклад прямых процессов с подгонкой под экспериментальные данные. Сечение континуума уровней получено также при помощи TNG.

Сечение радиационного захвата выше 792 кэВ получено на основе расчетов по TNG программе.

Сечение реакции (n,2n) взято из оценки Хораи и др.(1987) и Икеда и др.(1988).

Сечения реакций с вылетом заряженных частиц получены при помощи TNG расчетов. При этом учитывались немногочисленные экспериментальные данные.

JENDL-3.3

В основе лежит оценка Асами, выполненная для JENDL-3 в 1987 году. В 1988 году проведена небольшая модификация данных, а именно mf/mt=3/107.

В 1993 году для версии JENDL-3.2 часть данных была переоценена.

В 2000 году данные переоценены Асами, а в 2001 году скомпилированы K.Shibata (JAERI) для последующей версии библиотеки JENDL-3.3. Изменения коснулись данных в следующих разделах

MF2

MT151 – резонансные параметры пересмотрены. Область резонансных параметров увеличена до 600 кэВ. Используется формализм Райха- Мура.

MF1

	MT2	пересчитано с учетом баланса сечений;
	MT22, 28, 102,	сечения вычислено с помощью SINCROS-II;
	103, 104, 105,	сечения вычислено с помощью SINCROS-II;
	106, 107, 111,	сечения вычислено с помощью SINCROS-II;
	203, 207	сечения вычислено с помощью SINCROS-II.
MF4, MF5	MT16, 22, 28, 91	данные исключены.
MF6		

	MT16, 22, 28, 91,	взяты из JENDL fusion file;
	206, 207	взяты из JENDL fusion file.
MF12, MF15	MT102	данные пересмотрены.

1. Общие характеристики

Z=24

A=49.946 044 ± 0.000 001

Awr=49.516 938 ± 0.000 001

Содержание в естественной смеси: - 4.345%

Перечень нейтронных реакций

MT	Реакция	Q, МэВ	Е _{порог.} , МэВ	Ядро-продукт ^{*)}
4	(n,n')	-0.7833	0.7991	Cr-50
16	(n,2n)	-12.9397	13.2010	Cr-49(42m)
22	(n,na)	-8.5561	8.7289	Ti-46
28	(n,np)	-9.5900	9.7837	V-49(330d)
102	(n,γ)	+9.2615	0.0	Cr-51(27.70d)
103	(n,p)	-0.2557	0.2608	V-50
104	(n,d)	-7.3655	7.5142	V-49(330d)
105	(n,t)	-12.6627	12.9184	V-48(15.97d)
106	(n,He3)	-8.6301	8.8044	Ti-48
107	(n,a)	+0.3213	0.0	Ti-47

111	(n,2p)	-8.2057	8.3714	Ti-49
-----	--------	---------	--------	-------

Схема уровней: (согласно оценке JEFF-3.1)

MT	LEVEL	ENERGY (MEV)	SPIN-PARITY
	0.0		0+
51	1.4793		2+
52	2.5018		4+
53	2.8243		2+
54	2.9535		1+
55	2.9942		0+
56	3.0909		2+
57	3.3216		2+
58	3.4805		3+
91 (cont)	3.5813		

Радиоактивность: не радиоактивен.

2. Резонансная область: (MF=2)

2.1. Спин и четность $J^\pi = 0^+$;

2.2. Радиус рассеяния: $R = 0.640 \cdot 10^{-12}$ см.

2.3. Область разрешенных резонансов.

Некоторые характеристики для области резонансных энергий приведены в таблице 1. Они получены с помощью программы INTER из комплекса программ ENDF UTILITY CODES (release 6.13, July 2002).

Таблица 1. Резонансные свойства Cr-50.

Оценка	Граница области RRR, keV	σ_γ (2200), барн	G-factor	I_γ , барн
ENDF/B	792	15.93	1.00006	7.45
JENDL	600	16.03	1.00006	7.47
Mughabghab		15.9 ± 0.2	1.0002	7.8 ± 0.4

Из приведенной в таблице 1 информации видно, что обе оценки согласуются с рекомендациями Мухабхаба. Несколько лучшее согласие с оцененным значением сечения захвата из компиляции Мухабхаба имеет оценки ENDF/B.

В таблице 2 для нескольких энергетических участков приводится сравнение нарастающих сумм резонансов.

Таблица 2 – Сравнение числа резонансов.

Система уровней	S-wave	P-wave	D-wave	Сумма
JENDL				
до 600 кэВ	42	70	2	112
ENDF/B				
до 600 кэВ	40	67	77	184
до 800 кэВ	25	136	41	202

Из приведенной в таблице 2 информации следует, что в оценке ENDF/B число резонансных уровней до 600 кэВ возросло по сравнению с оценкой JENDL. Далее, плотность резонансов всех систем, разрешенных от 600 до 800 кэВ выше, чем в области энергий ниже 600 кэВ. Таким образом, в оценке ENDF/B область разрешенных резонансов расширена обосновано.

ВЫВОДЫ:

Из проведенного сравнения следует, что для РОСФОНДА предпочтительнее использовать оценку параметров разрешенных резонансов из ENDF/B.

3. Сечения нейтронных реакций

3.1. Полное сечение

На рисунке 1 представлены энергетический ход сечения полного взаимодействия из библиотеки ENDF/B-VI (rev.1), переработанные в 299 мультигрупповое представление, и отклонения от него сечений из библиотеки JENDL-3.3. в области резонансных энергий 100 эВ - 1 МэВ.

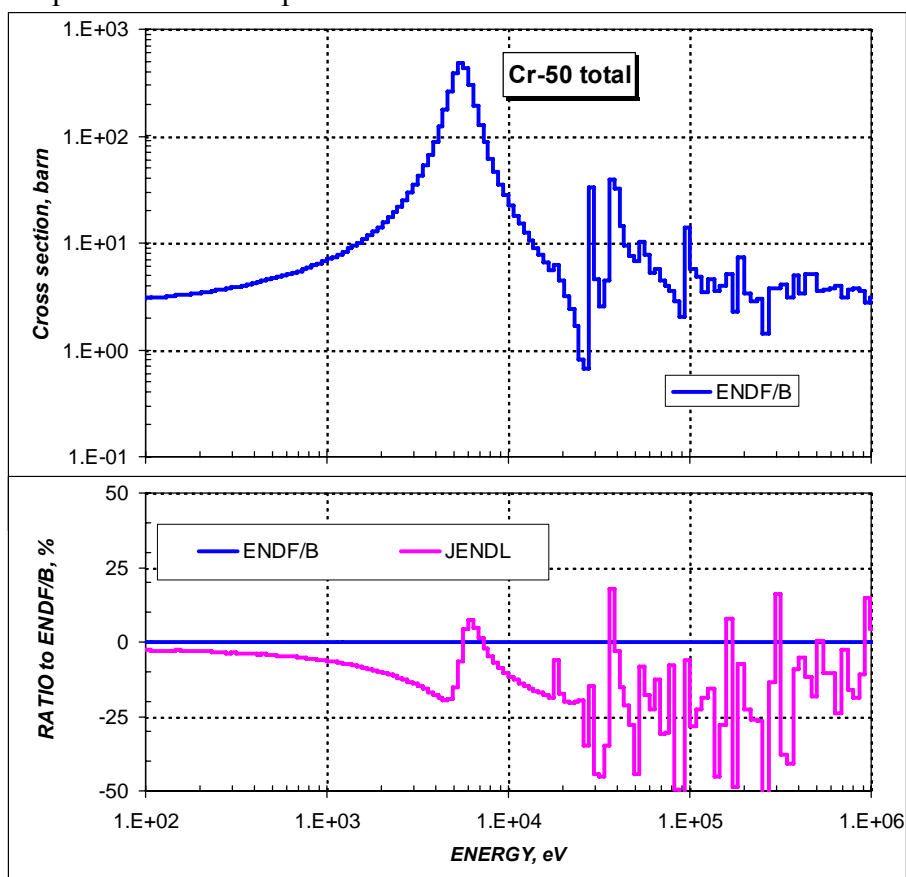


Рисунок 1 – Ход полного сечения Cr-50 в области энергий 100 эВ – 1 МэВ.

Из рисунка 1 видно, что в резонансной области энергий ~ до 800 кэВ различия в полном сечении достигает 20-25%. Оно связано, главным образом, с полнотой набора резонансных параметров, описывающих резонансное взаимодействие нейтронов с нуклидом.

Ниже, на рисунке 2 показан аналогичный ход полного сечения в области энергии 1 МэВ - 10 МэВ.

Отметим, что сечения из библиотеки БРОНД-2 не рассматривались, поскольку при ее компиляции не учитывались экспериментальные данные, выполненные с высоким разрешением в последующие после оценки годы.

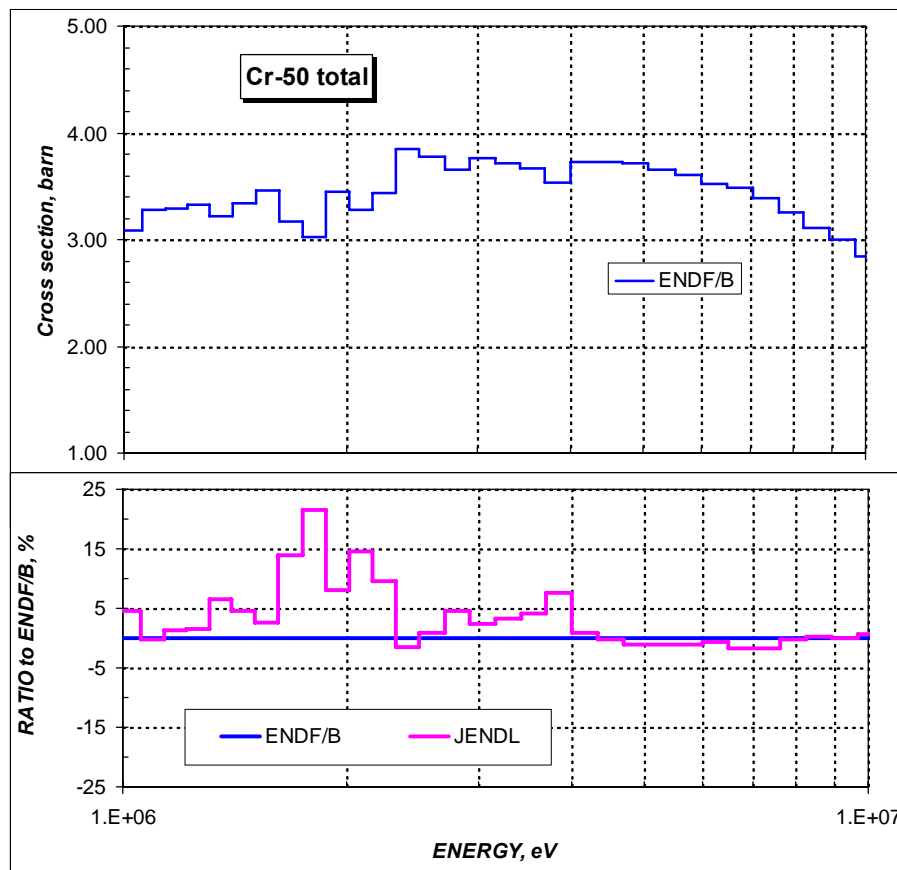


Рисунок 2 – Ход полного сечения Cr-50 в области энергий 1 МэВ – 10 МэВ.

Из представленной на рисунке 2 информации видно, что различия между JENDL и ENDF/B-VI достигают до 15 %. Доступной экспериментальной информации в этой области энергий не оказалось с тем, чтобы установить правильность той или иной оценки.

В области энергий выше 10 МэВ имеется только один эксперимент по измерению полного сечения. Сравнение оцененных сечений с экспериментом приведено на рисунке 3.

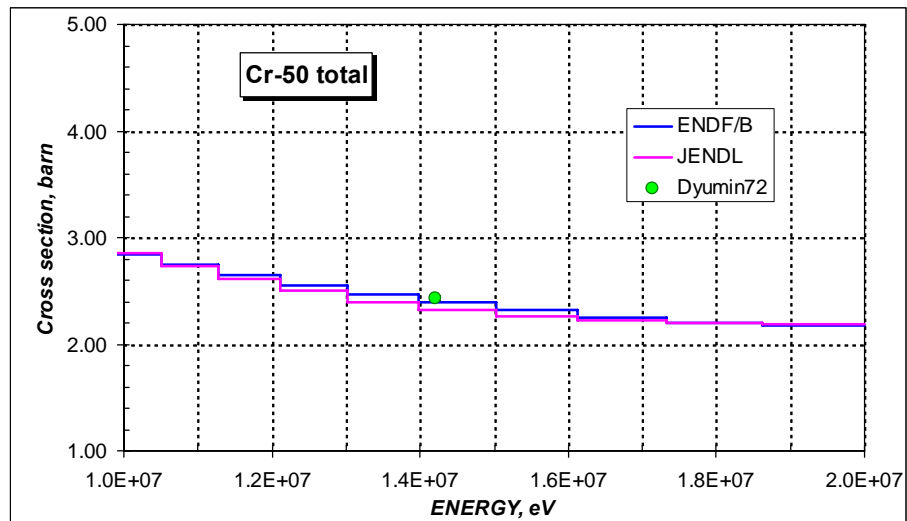


Рисунок 3 – Ход полного сечения Cr-50 в области энергий 10 – 20 МэВ.

Из приведенного на рисунке 3 сравнения видно, что оценка ENDF/B согласуется с экспериментом, в то время как оценка JENDL проходит ниже экспериментальной точки.

ВЫВОДЫ:

Таким образом, полное сечение из оценки ENDF/B является более предпочтительным, чем из оценки JENDL.

3.2. Сечение радиационного захвата

На рисунке 4 представлены энергетический ход сечения радиационного захвата нейтронов из библиотеки ENDF/B-VI (rev.1), переработанные в 299 мультигрупповое представление, и отклонения от него сечений из библиотеки JENDL-3.3. в области энергий 10 кэВ -10 МэВ. Там же приведены экспериментальные данные, полученные в 2002 году.

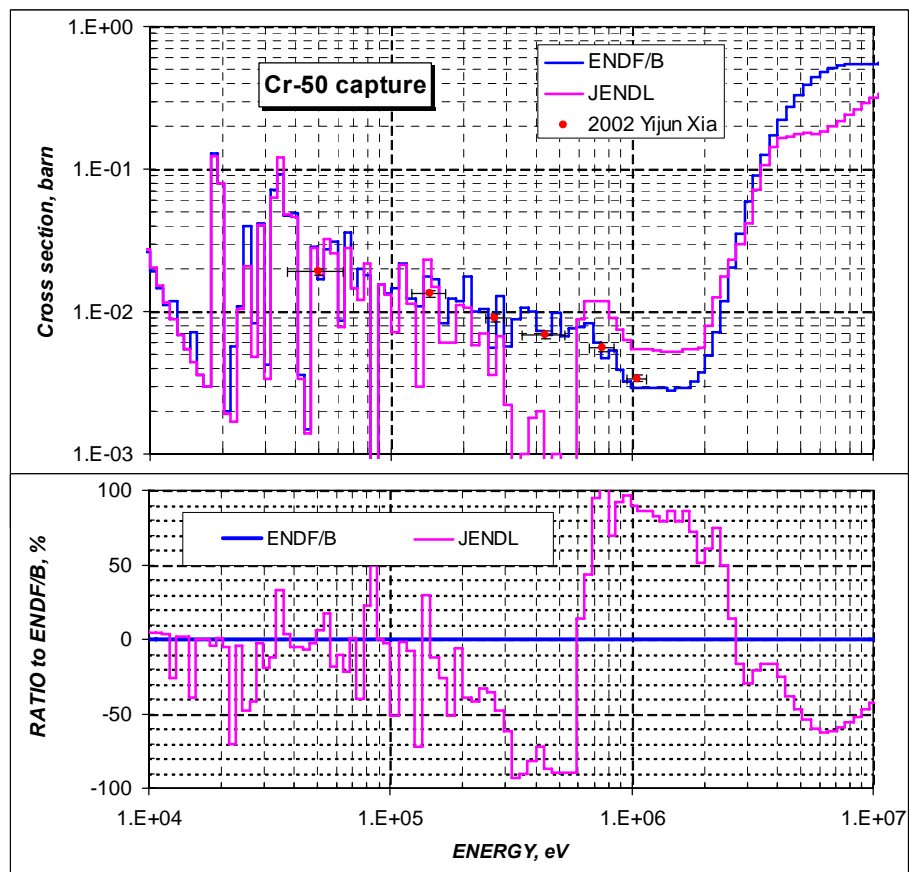


Рисунок 4 – Ход сечения радиационного захвата нейтронов на Cr-50 в области энергий 10 кэВ – 10 МэВ.

Из приведенного на рисунке 4 сравнения видно, что экспериментальные данные хорошо согласуются с сечением захвата из ENDF/B. Оценка JENDL не соответствует экспериментальным данным.

ВЫВОДЫ:

Таким образом, и сечение радиационного захвата из оценки ENDF/B является более предпочтительным, чем из JENDL.

3.3. Сечение неупругого рассеяния

На рисунке 5 показан энергетический ход сечения неупругого рассеяния нейтронов из библиотеки ENDF/B-VI (rev.1) и из библиотеки JENDL-3.3. в области энергий выше 800 кэВ - 20 МэВ. В этой области энергий имеется лишь один набор экспериментальных данных, выполненный Ван Паттером в 1962 году.

Из приведенного на рисунке 5 сравнения видно, что в области энергий, где имеются экспериментальные данные, оценки неплохо согласуются друг с другом, при этом, ход сечения оценки JENDL вблизи порога реакции более пологий, чем у ENDF/B. В начальной области энергий оценка JENDL отображает структуру сечения, в то время, как в оценке ENDF/B сечение имеет гладкий характер.

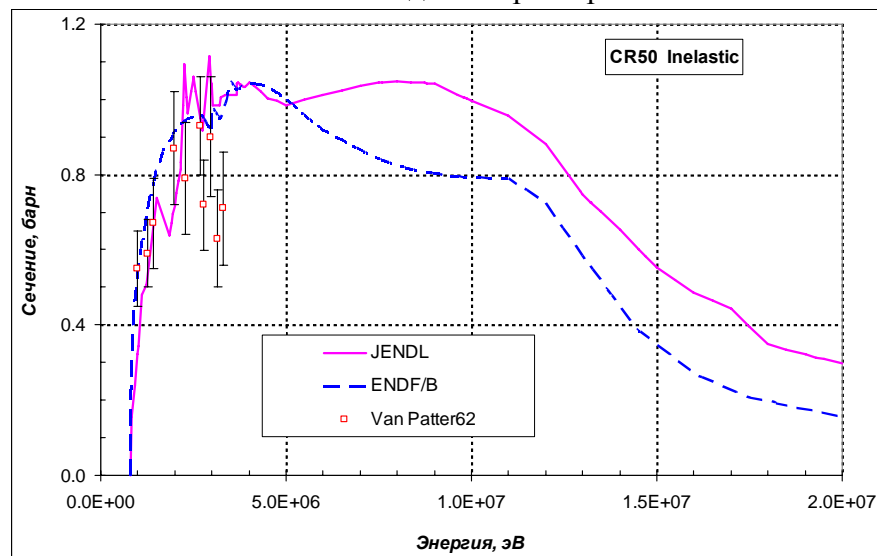


Рисунок 5 – Ход сечения неупругого рассеяния нейтронов на Cr-50.

В области энергий выше 5 МэВ между оценками имеется принципиальное расхождение в поведении сечения. Для разрешения этого противоречия было бы достаточно иметь одну точку в районе традиционных экспериментальных энергий ~14 МэВ.

ВЫВОДЫ:

Имеющиеся экспериментальные данные не позволяют определить наиболее достоверное сечение неупругого рассеяния нейтронов на Cr-50.

3.4. Сечение реакции (n,2n)

На рисунке 6 показан энергетический ход сечения реакции (n,2n) из библиотеки ENDF/B-VI (rev.1) и из библиотеки JENDL-3.3. в области энергий выше 13 - 20 МэВ. В этой области энергий имеется достаточно много наборов экспериментальных данных, выполненных различными авторами в разное время.

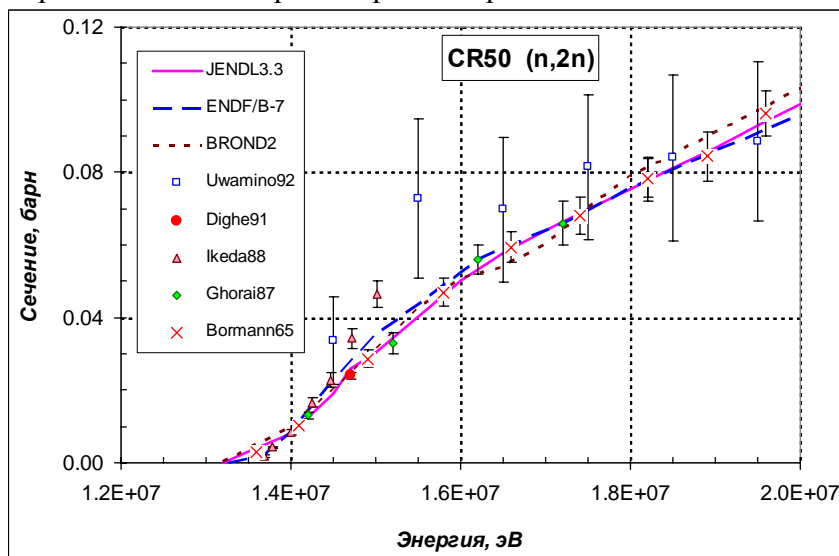


Рисунок 6 – Ход сечения реакции (n,2n) на Cr-50.

Из приведенного на рисунке 6 сравнения видно, что в целом, оценки неплохо согласуются друг с другом и с имеющимися экспериментальными данными.. Вызывают удивление экспериментальные данные, выполненные в 1992 году группой Увамино и др. тем обстоятельством, что им приписаны очень большие погрешности.

ВЫВОДЫ:

Имеющиеся экспериментальные данные не позволяют определить наиболее достоверное сечение реакции (n,2n) на Cr-50.

Заключение

На основе проведенного анализа параметров разрешенных резонансов и наиболее важных нейтронных сечений, в библиотеку РОСФОНД'а для хрома-50 рекомендуется принять оценку нейтронных данных из библиотеки JEFF-3.1~ ENDF/B-VII. В JEFF нейтронные данные приводятся до 20 МэВ, в то время как оценка ENDF/B содержит нейтронные данные до 150 МэВ.

Ковариационные данные следует исключить. Они будут анализироваться в дальнейшем.

Автор рекомендации

Кощеев В.Н.

24.2. Хром-51

Радиоактивен ($T_{1/2}=27.70$ дн.). Распадается путем захвата орбитального электрона в ванадий-51.

Полных наборов нейтронных данных нет. Последняя оценка нейтронных сечений содержится в EAF-2003. Экспериментальных данных для их проверки нет.

Заключение

В РОСФОНД принять оценку EAF-2003.

Автор рекомендации

Николаев М.Н.

24.3. Хром-52

Оцененные данные рассматриваются в диапазоне энергий до 20 МэВ. Различные модификации, выполненные выше 20 МэВ, не комментируются.

Экспериментальные данные, используемые при сравнении с оцененными кривыми, взяты из интерактивной библиотеки EXFOR-CINDA (Database and Retrieval System, version 1.80, June 2005).

Ниже рассматриваются три современные оценки нейтронных данных, а именно – ENDF/B-VII bethal version, JEFF-3.1 и JENDL-3.3. По каждой оценке приводятся краткие пояснения. В библиотеке ФОНД-2.2 находится оценка из БРОНД-2.2, которая явно проигрывает вышеупомянутым оценкам. В дальнейшем сечения из библиотеки БРОНД-2 не рассматривались, поскольку при ее компиляции не учитывались экспериментальные данные, выполненные с высоким разрешением в последующие после оценки годы.

ENDF/B

Последняя версия (ENDF/B-VIIb1) содержит оценку ORNL, выполненную в 1989 году авторским коллективом: D. Larson.

Основные моменты:

Используются программы DWUCK, в которой ядерная модель описывается THE DISTORTED WAVE BORN APPROXIMATION (DWBA) и программа TNG, в которой используется формализм Хаузера-Фешбаха.

С помощью TNG получены угловые и энергетические распределения частиц, испускаемых в реакциях по модели компаунд ядра и предравновесного процесса. При этом обеспечивается согласованность между всеми реакциями и обеспечивается энергетический баланс оцененных данных.

Область резонансных энергий от 1.E-5 эВ до 980 кэВ. Резонансные параметры для формализма Райха-Мура получены на основе частного сообщения группы Бруссегана и др. Резонансные параметры подгонялись под результаты работы Харви и Агравела (1988). В области энергий 375 – 980 кэВ в захват добавляется подложки (MF3, MT102) для согласования с усредненными экспериментальными данными.

Полное сечение выше 980 кэВ получено при анализе нескольких наборов измерений с высоким разрешением, которые также использовались и при получении резонансных параметров.

Сечения десяти уровней неупругого рассеяния получены при помощи программы TNG, в которой учитывается вклад прямых процессов с подгонкой под экспериментальные данные. Сечение континуума уровней получено также при помощи TNG.

Сечение радиационного захвата выше 980 кэВ получено на основе расчетов по TNG программе.

Сечение реакции (n,2n) взято из оценки Хораи и др.(1987) и Икеда и др.(1988).

Сечения реакций с вылетом заряженных частиц получены при помощи TNG расчетов. При этом учитывались немногочисленные экспериментальные данные.

JEFF-3.1

В библиотеке содержится новая оценка нейтронных данных для Cr-52. Авторы: С.Тагесен, Х.Вонах (IRK Vienna) и О.Боулэнд (CEA Cadarache).

Оценка резонансных параметров выполнена по программе SAMMY на основе большого набора доступных экспериментальных данных, как по измерению сечения захвата, так и по полному пропусканию. Полученный набор резонансных параметров описывает сечения взаимодействия с нейтронами в области энергий от 1.E-5 эВ до 1.2 МэВ. В области резонансных энергий нет никакой подложки на пропуски резонансов.

В области энергий выше 1.2 МэВ сечения рассчитывались по программе GLUCs с использованием экспериментальных данных с высоким разрешением для натурального хрома, главным образом данные Ларсона (1996).

Угловые распределения нейтронов до 1 МэВ получены с помощью резонансных параметров и представлены разложениями в ряд по полиномам Лежандра. Выше 1 МэВ были использованы переоцененные данные из EFF-2.4.

Энерго-угловые распределения нейтронов для всех приведенных реакций протестированы на результатах бенчмарк экспериментов.

Сечения, угловые и энергетические распределения фотонов получены с помощью расчетов по программе TNG.

JENDL-3.3

В основе лежит оценка Асами, выполненная для JENDL-3 в 1987 году. В 1988 году проведена небольшая модификация данных, а именно $mf/mt=3/107$.

В 1993 году для версии JENDL-3.2 часть данных была переоценена.

В 2000 году данные переоценены Асами, а в 2001 году скомпилированы K.Shibata (JAERI) для последующей версии библиотеки JENDL-3.3. Изменения коснулись данных в следующих разделах

MF2

MT151 – резонансные параметры пересмотрены. Область резонансных параметров увеличена до 855 кэВ. Используется формализм Райха- Мура.

MF1

MT2

пересчитано с учетом баланса сечений;

MT16, 22, 28, 102, 107 сечения модифицированы;

104, 105, 106, сечения оценены заново;

111, 203, 207, сечения оценены заново;

MF4, MT16, 22, 28, 91 исключены.

MF5, MT16, 22, 28, 91 исключены.

MF6

MT16, 22, 28, 91, взяты из JENDL fusion file;

203, 207 взяты из JENDL fusion file.

MF12, MT16-107 оценены заново

MF14, MT16-107 изотропное распределение

MF15, MT16-107 оценены заново

MF33, MT1-107 взяты из JENDL-3.3.

MF34, MT2 взяты из JENDL-3.3.

1. Общие характеристики

Z=24

A=51.940 507 5 ± 0.000 000 8

Awr=51.494 313 6 ± 0.000 000 8

Содержание в естественной смеси: - 83.789%

Перечень нейтронных реакций

MT	Реакция	Q, МэВ	Е _{порог.} , МэВ	Ядро-продукт ^{*)}
----	---------	--------	---------------------------	----------------------------

4	(n,n')	-1.4340	1.4618	Cr-52
16	(n,2n)	-12.0384	12.2722	Cr-51(27.70d)
22	(n,na)	-9.3521	9.5337	Ti-46
28	(n,np)	-10.5050	10.7090	V-51
102	(n, γ)	+7.9401	0.0	Cr-53
103	(n,p)	-3.1956	3.2577	V-52(3.75m)
104	(n,d)	-8.2805	8.4413	V-51
105	(n,t)	-13.0737	13.3276	V-50(1.4E7y)
106	(n,He3)	-10.8414	11.0519	Ti-50
107	(n,a)	-1.2097	1.2332	Ti-49
111	(n,2p)	-12.1947	12.4315	Ti-51(5.8m)

Схема уровней: (согласно оценке JENDL-3.3)

MT	LEVEL ENERGY (MEV)	SPIN-PARITY
	0.0	0+
51	1.4341	2+
52	2.3696	4+
53	2.6470	0+
54	2.7677	4+
55	2.9648	2+
56	3.1138	6+
57	3.1617	2+
58	3.4152	4+
59	3.4722	3+
60	3.6158	5+
61	3.7000	2+
62	3.7717	2+
91(cont)	3.8000	

Радиоактивность: не радиоактивен.

2. Резонансная область: (MF=2)

2.1. Спин и четность $J^\pi = 0^+$;

2.2. Радиус рассеяния: $R = 0.640 \cdot 10^{-12}$ см.

2.3. Область разрешенных резонансов.

Некоторые характеристики для области резонансных энергий приведены в таблице 3. Они получены с помощью программы INTER из комплекса программ ENDF UTILITY CODES (release 6.13, July 2002).

Таблица 3. Резонансные свойства Cr-52.

Оценка	Граница области RRR, keV	$\sigma_\gamma(2200)$, барн	G-fact	I_γ , барн
ENDF/B-VII	980	0.745	1.0001	0.440
JEFF-3.1	1200	0.760	1.0001	0.451
JENDL-3.3	855	0.775	1.0001	0.455
Mughabghab		0.76 ± 0.06	1.0003	0.50 ± 0.06

Из приведенной в таблице 3 информации видно, что все оценки согласуются с рекомендациями Мухабхаба. Несколько лучшее согласие с оцененным значением сечения захвата из компиляции Мухабхаба имеет оценки JEFF-3.1.

На рисунке 7 приводятся графики нарастающих сумм резонансов для S, -P, и D-волн.

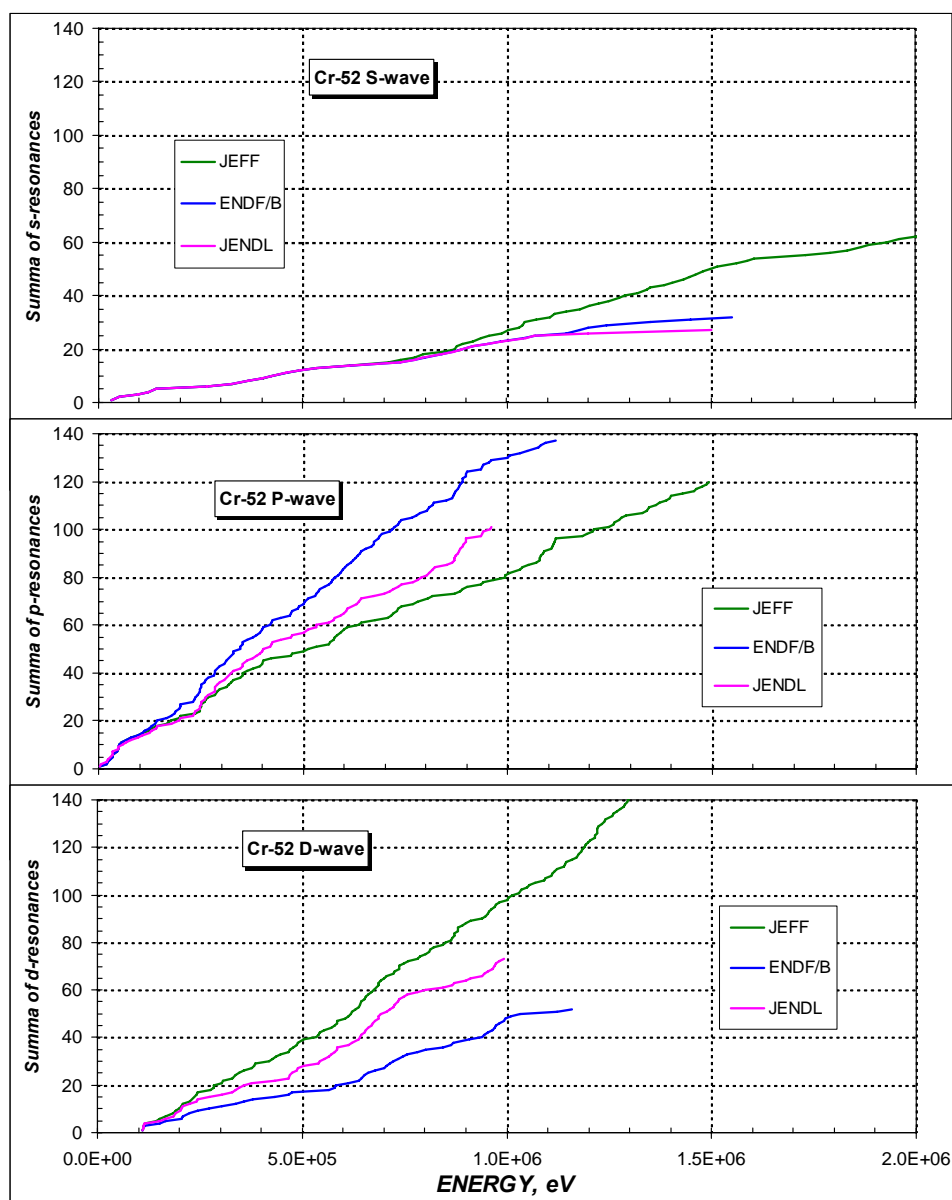


Рисунок 7 – Нарастающие суммы резонансов для Cr-52.

Из приведенного на графике 7 сравнения видно, что наиболее полный набор резонансных параметров находится в JEFF. Во-вторых, начиная с 700 кэВ, число S-резонансов в JEFF больше чем в ENDF/B и JENDL. Различие в числе резонансов увеличивается с ростом энергии, т.е. пропуски резонансов в отмеченной области становятся не столь существенными, как в оценках ENDF/B или JENDL. Что касается идентификации их в оценке JEFF, то разделение резонансов на S-, P- и D-резонансы во всех оценках выполнено не совсем корректно.

Рассмотрим энергетическую зависимость сечений, восстановленную из набора параметров разрешенных резонансов. На рисунке 8 представлено сравнение оцененных кривых и доступных экспериментальных данных в начале области резонансных энергий от 40 – 150 кэВ.

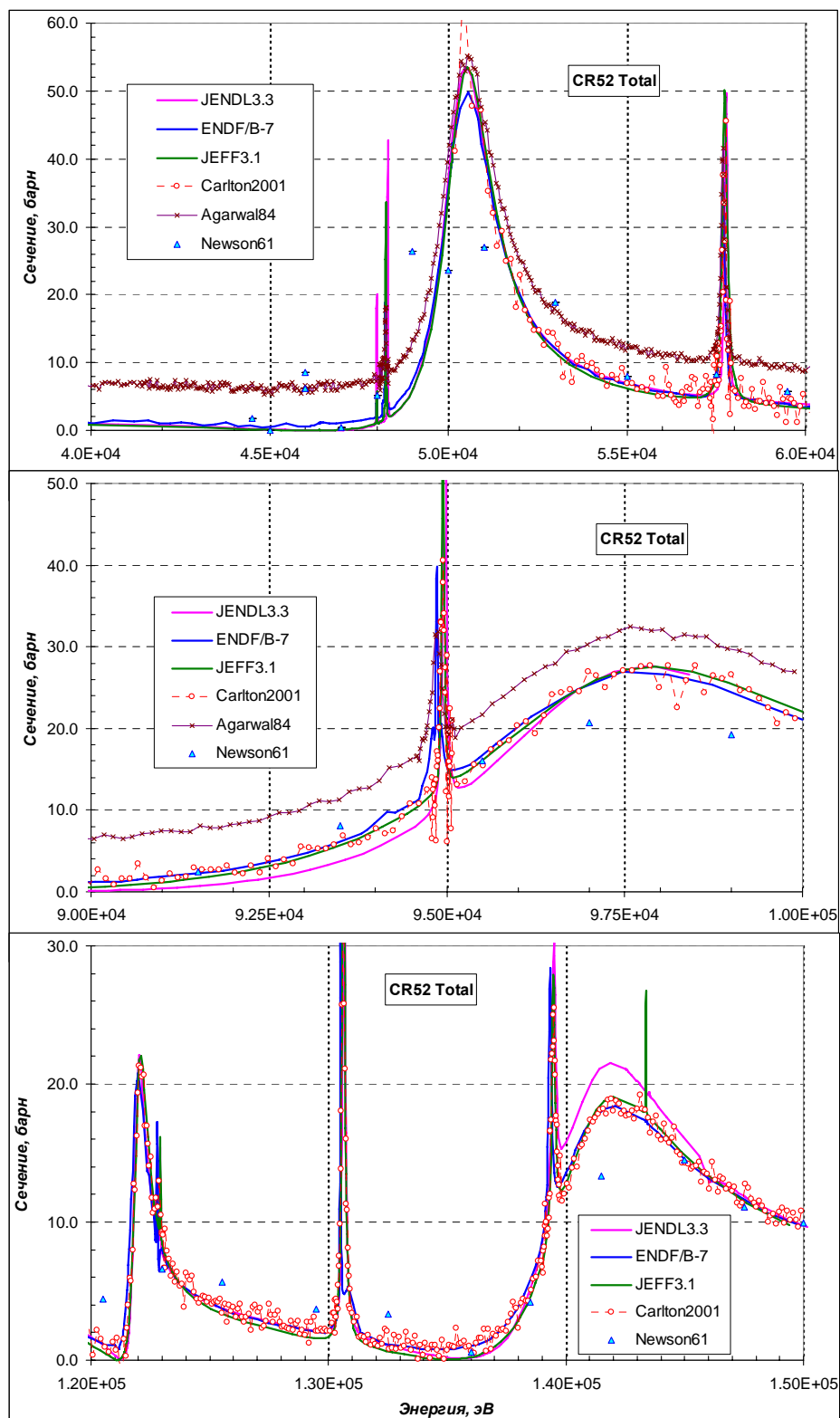


Рисунок 8 – Сравнение оцененных сечений полного взаимодействия на Cr-52 с экспериментальными данными в области энергий до 150 кэВ.

Из приведенного на рисунке 8 сравнения видно, что эксперимент Агарвола (1984 г.) вероятно в базе экспериментальных данных EXFOR содержит ошибочные значения. Остальные экспериментальные данные (главным образом, это – эксперимент с высоким разрешением, выполненный группой Карлтона и др на установке LINAC(ORNL) в 2000 г.) лучшим образом согласуются с оценкой ENDF/B и JEFF.

На рисунке 9 показано сравнение оцененных сечений полного взаимодействия на Cr-52 с экспериментальными данными в середине области резонансных энергий от 300 до 600 кэВ.

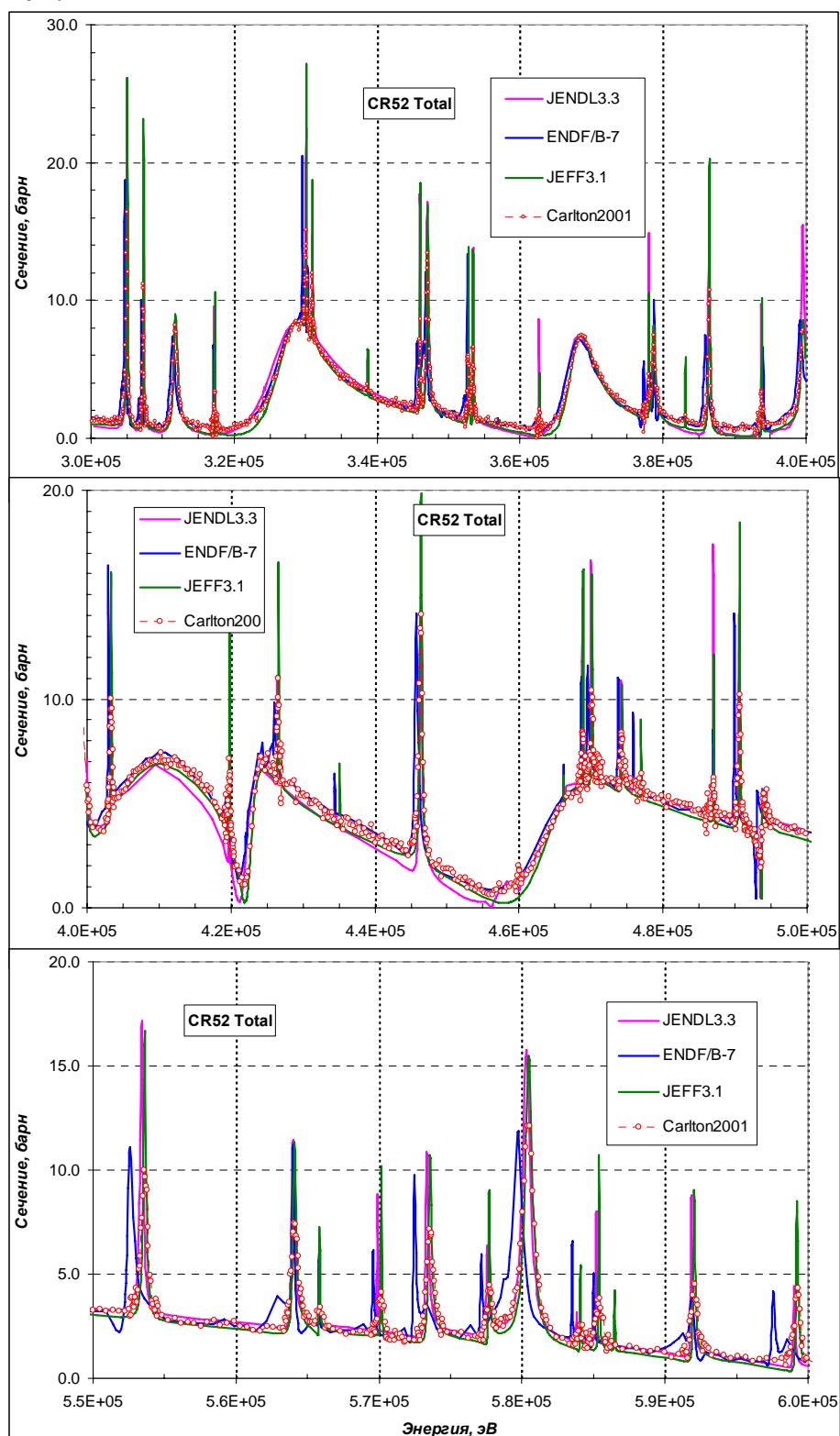


Рисунок 9 – Сравнение оцененных сечений полного взаимодействия на Cr-52 с экспериментальными данными в области энергий 300 - 600 кэВ.

Из приведенного на рисунке 9 сравнения видно, что в этой области энергий полное сечение, восстановленное с помощью резонансных параметров из оценки JEFF,

согласуется с экспериментальными данными несколько лучше, чем аналогичные сечения, полученные из оценок ENDF/B и JENDL. В области энергий 550 -600 кэВ видно, что положение резонансных уровней в ENDF/B ошибочно.

Ниже, на рисунке 10 показано сравнение оцененных сечений полного взаимодействия на Cr-52 в верхней области резонансных энергий от 0.7 до 1.0 МэВ.

Из приведенного на рисунке 10 сравнения видно, что и в верхней области разрешенных резонансов оценка JEFF является предпочтительной.

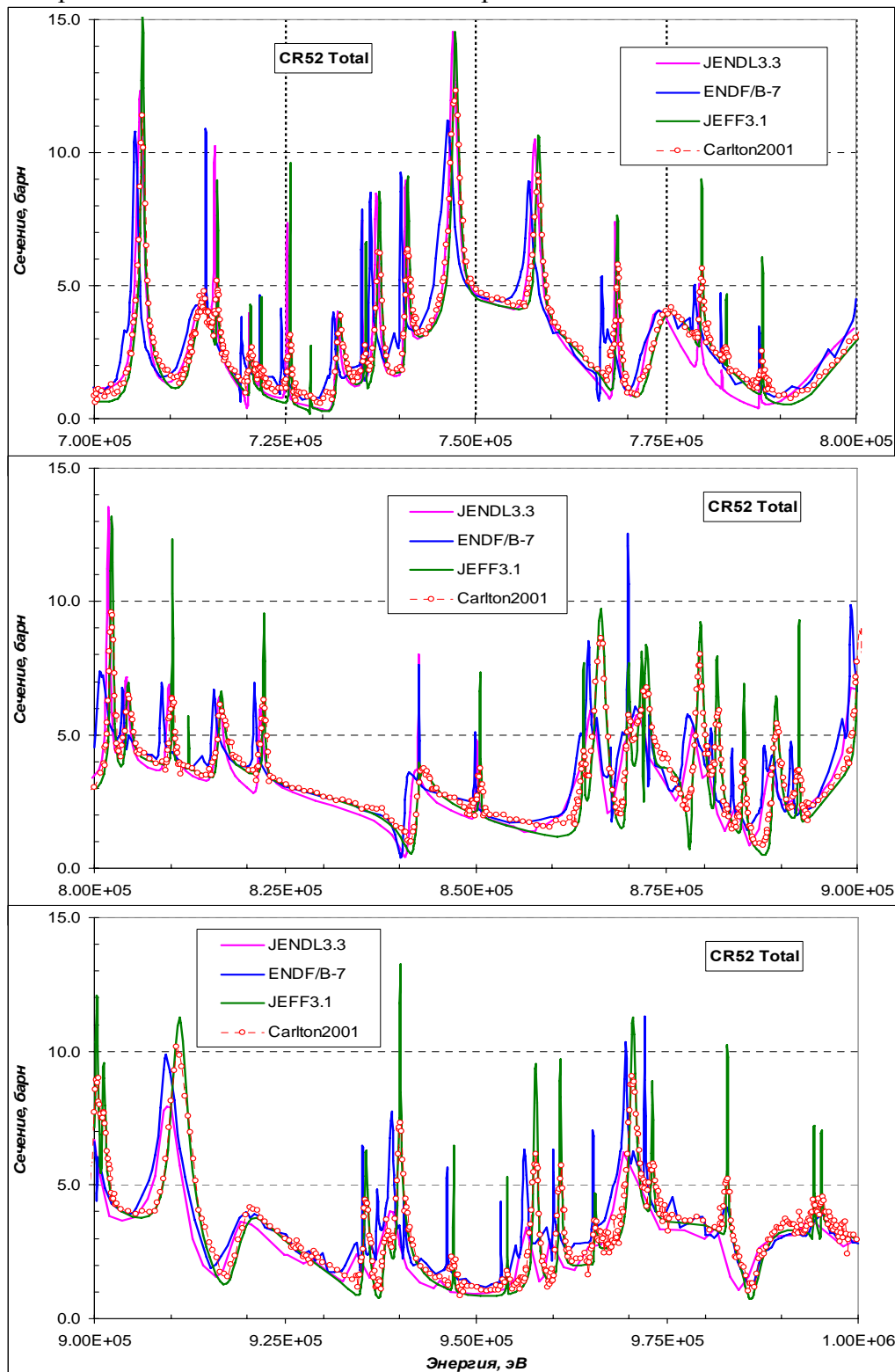


Рисунок 10 – Сравнение оцененных сечений полного взаимодействия на Cr-52 в области энергий 700 кэВ – 1 МэВ.

Сравнение восстановленных сечений радиационного захвата на Cr-52 с имеющимися не многочисленными экспериментальными данными приведенное на рисунке 11 не позволяет отдать предпочтение той или иной оценке.

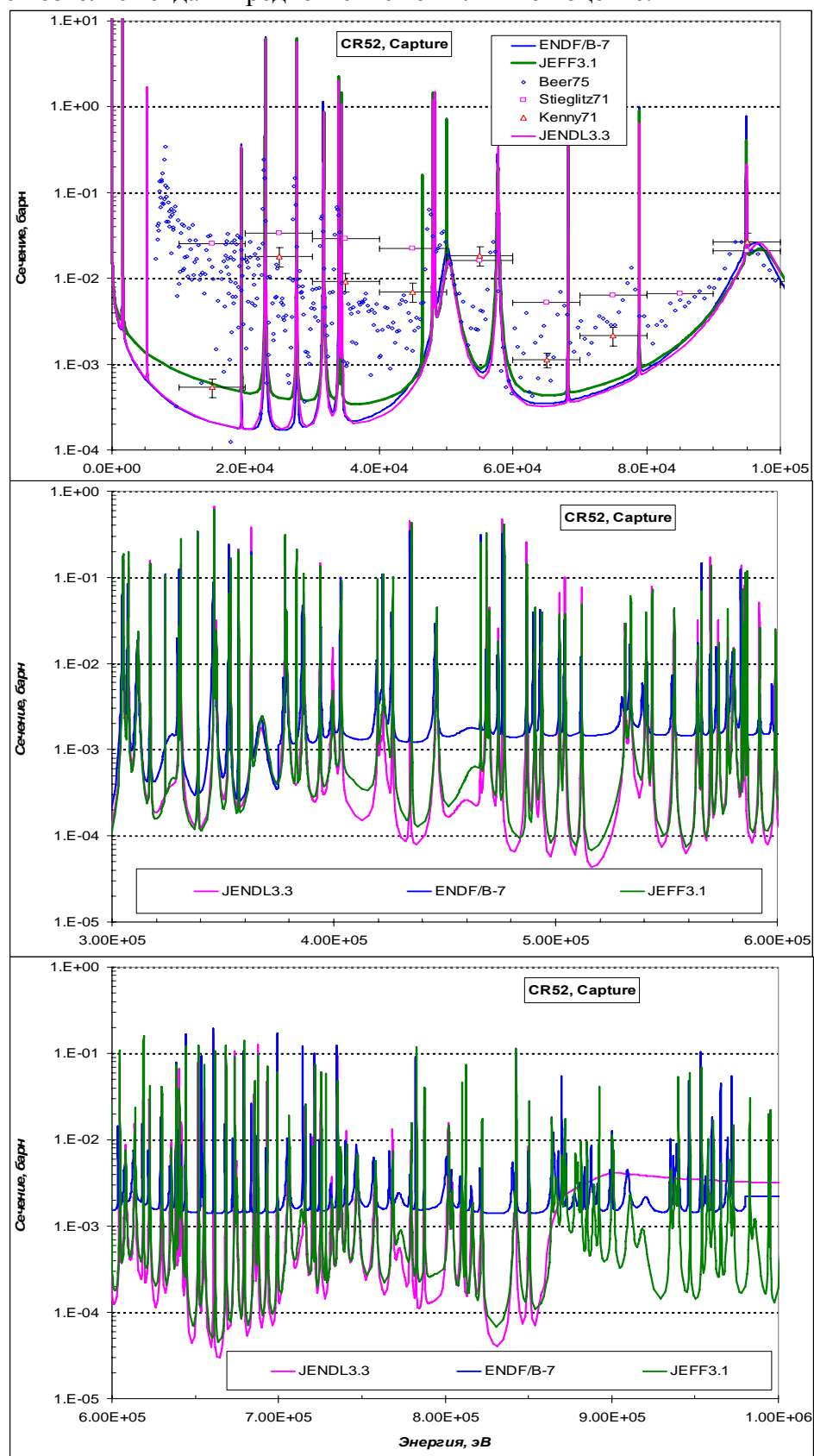


Рисунок 11 – Сравнение оцененных сечений радиационного захвата на Cr-52 в области резонансных энергий до 1 МэВ.

ВЫВОДЫ:

Из проведенного сравнения следует, что, оценка JEFF имеет не только большую привлекательность набора резонансных параметров оценки JEFF-3.1 в смысле полноты набора, но восстановленное сечение полного взаимодействия лучше других оценок согласуется с экспериментальными данными группы Карлтона. Для РОСФОНДА рекомендуется использовать оценку параметров разрешенных резонансов из JEFF-3.1.

3. Сечения нейтронных реакций

3.1. Полное сечение

На рисунке 12 представлено сравнение оцененных сечений полного взаимодействия Cr-52 из различных библиотек с экспериментальными данными в области энергий 5 - 20 МэВ.

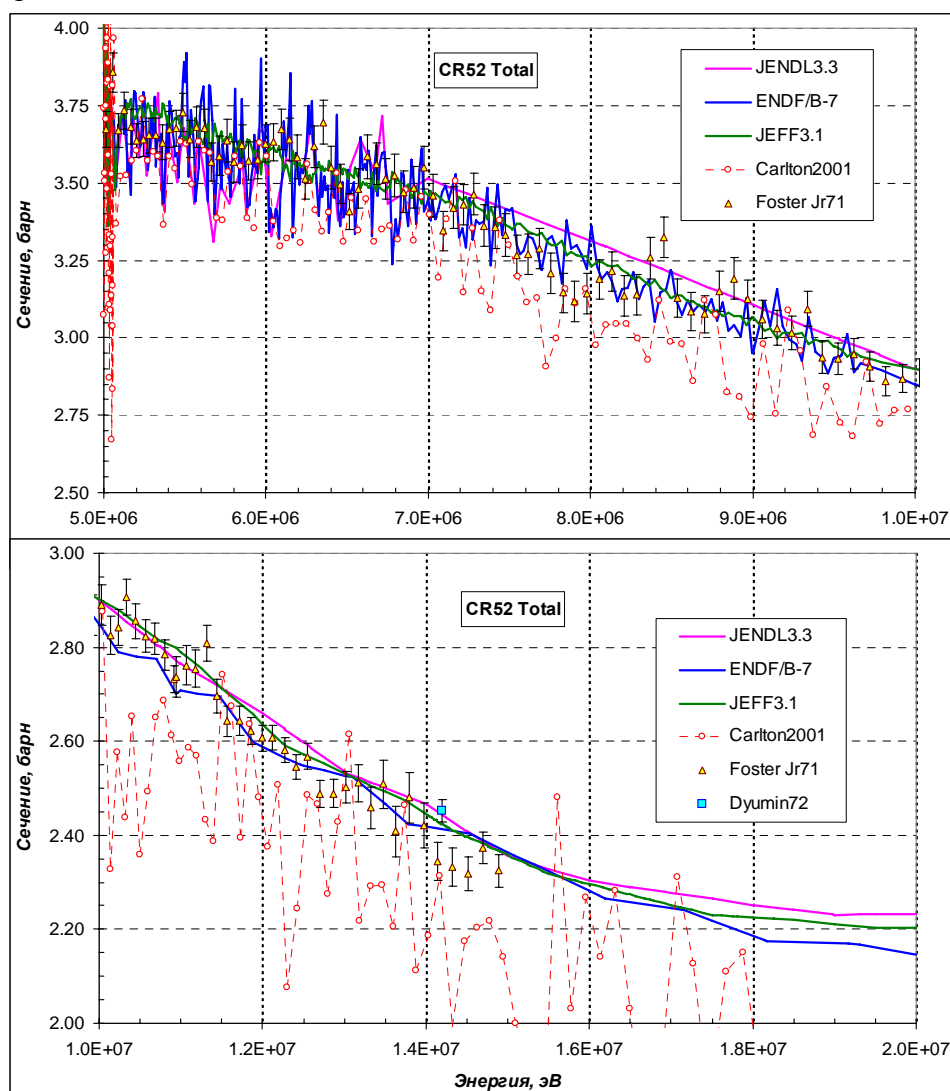


Рисунок 12 – Энергетическая зависимость полного сечения Cr-52 в области энергий 5 МэВ – 20 МэВ.

Из рисунка 12 видно, что в области высоких энергий оцененные сечения согласуются между собой лучше, нежели экспериментальные данные. В этой области энергий экспериментальные данные Карлтона и др. располагаются неожиданно низко. Прецизионное измерение Дюбина (1972) в точке 14.2 МэВ хорошо согласуется с

оценками JENDL и JEFF. Ниже, на рисунке 2 показан аналогичный ход полного сечения в области энергии 1 МэВ - 10 МэВ.

ВЫВОДЫ:

В области высоких энергий, имеющиеся экспериментальные данные не позволяют выделить наиболее достоверное сечение полного взаимодействия на Cr-52.

3.2 Сечение радиационного захвата

На рисунке 13 представлено сравнение оцененных сечений радиационного захвата нейтронов на Cr-52 из различных библиотек с экспериментальными данными в области энергий 1 - 20 МэВ.

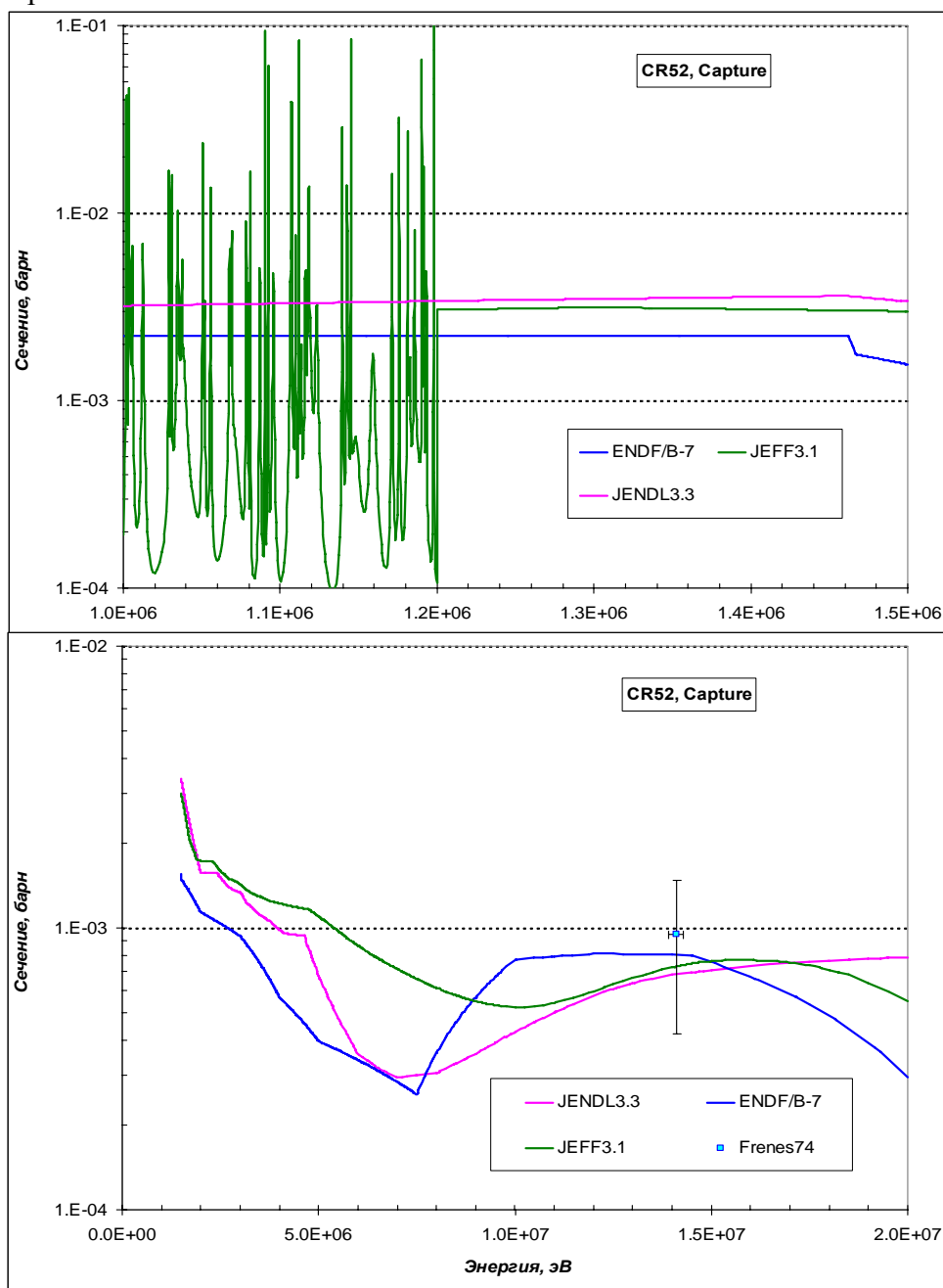


Рисунок 13 – Энергетическая зависимость сечения радиационного захвата нейтронов на Cr-52 в области энергий 1 МэВ – 20 МэВ.

Из приведенного на рисунке 13 сравнения видно, что в области высоких энергий оцененные сечения радиационного захвата согласуются между собой в области где

имеется одна экспериментальная точка. Если всему интервалу высоких энергий приписать погрешность единственного экспериментального измерения, то, в целом, оцененные сечения неплохо согласуются друг с другом.

ВЫВОДЫ:

В области высоких энергий, имеющиеся экспериментальные данные не позволяют выделить наиболее достоверное сечение радиационного захвата нейтронов на Cr-52.

3.3. Сечение неупругого рассеяния

На рисунке 14 представлено сравнение оцененных сечений неупругого рассеяния нейтронов на Cr-52 с экспериментальными данными.

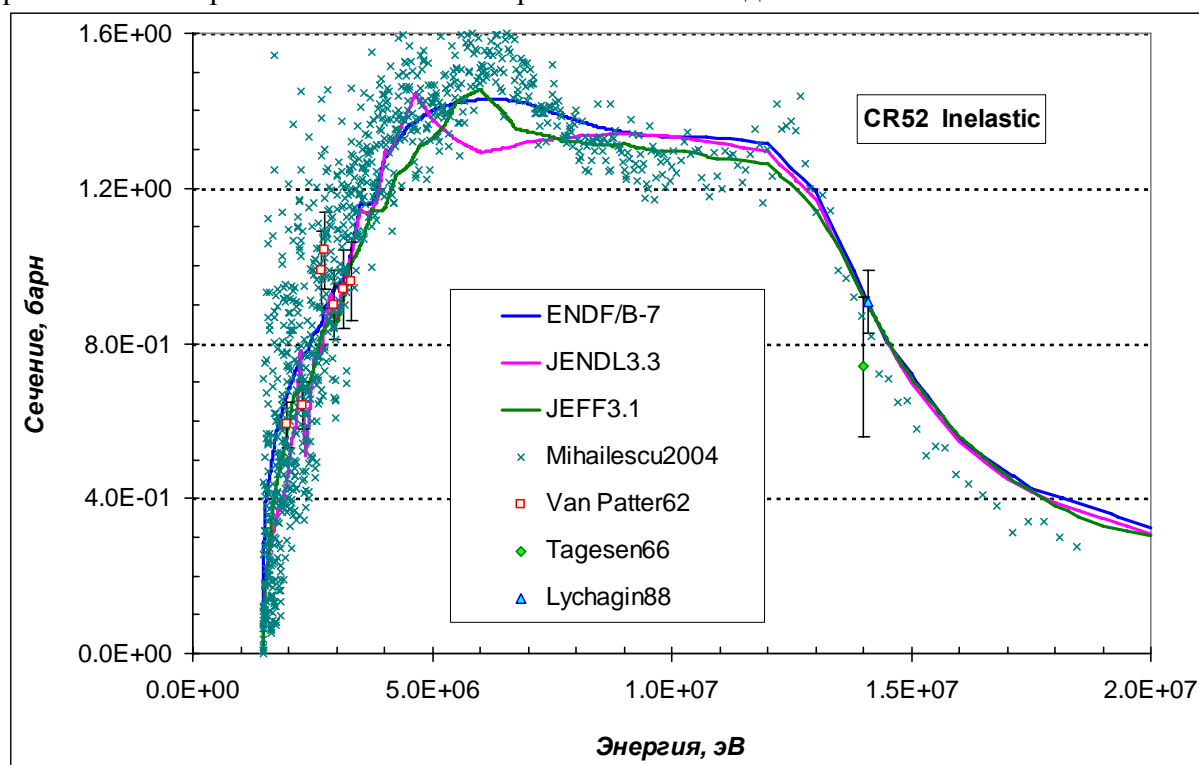


Рисунок 14 – Энергетическая зависимость сечения неупругого рассеяния нейтронов на Cr-52 в области энергий до 20 МэВ.

Из приведенного на рисунке 14 сравнения видно, что оцененные сечения неупругого рассеяния согласуются между собой лучше, чем наблюдаемый разброс экспериментальных данных. Наиболее свежие экспериментальные данные с высоким разрешением группы Михайлеску (2004 г.), вероятно, не были учтены при оценке сечения в рассматриваемых оценках. Учет их в дальнейшем может повысить точность сечения неупругого рассеяния на Cr-52.

ВЫВОДЫ:

Все оцененные сечения неупругого рассеяния хорошо согласуются с экспериментальными данными. Учет последних экспериментальных данных с высоким разрешением группы Михайлеску (2004 г) в дальнейшем может повысить точность сечения неупругого рассеяния на Cr-52.

3.4. Сечение реакции (n,2n)

На рисунке 15 показано сравнение оцененных сечений реакции (n,2n) с экспериментальными данными, выполненных различными авторами в разное время.

Из приведенного на рисунке 15 сравнения видно, что оцененные кривые хорошо согласуются друг с другом, в то время, как экспериментальные данные выше 16 МэВ различаются между собой до 20-30%.

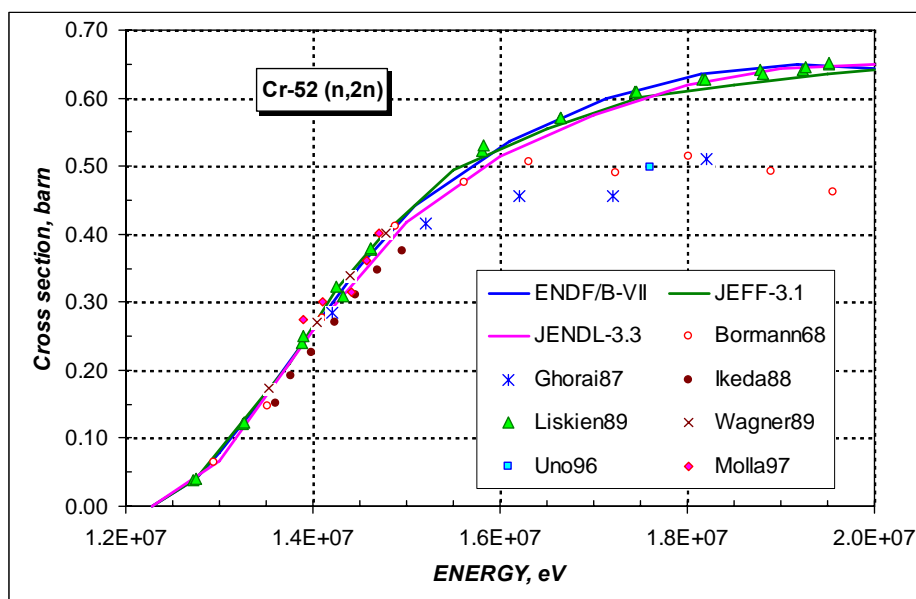


Рисунок 15 – Энергетическая зависимость сечения реакции (n,2n) на Cr-52.

ВЫВОДЫ:

Все оцененные сечения реакции (n,2n) хорошо согласуются между собой. Имеющиеся экспериментальные данные не позволяют выделить наиболее достоверное сечение реакции (n,2n).

3.5. Сечение реакции (n,p)

На рисунке 16 показано сравнение оцененных сечений реакции (n,p) с экспериментальными данными, выполненных различными авторами в разное время.

Из приведенного на рисунке 16 сравнения видно, что с имеющимися экспериментальными данными оптимально согласуется оценка JEFF, в то время, как оценка ENDF/B и JENDL на некоторых энергетических интервалах не согласуются с экспериментальными данными.

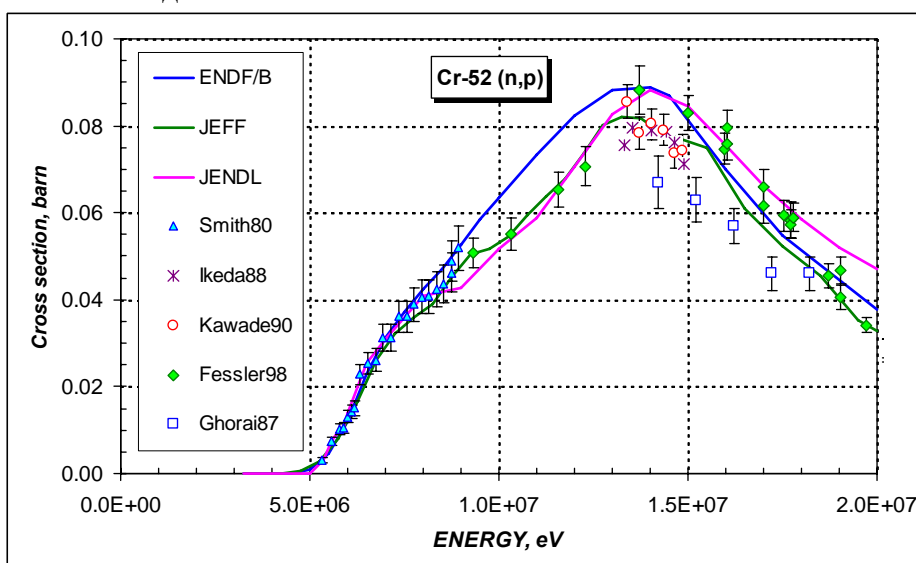


Рисунок 16 – Энергетическая зависимость сечения реакции (n,p) на Cr-52.

ВЫВОДЫ:

Оценка сечения реакции (n,p) из JEFF наилучшим образом согласуется с экспериментальными данными.

Заключение

На основе проведенного анализа параметров разрешенных резонансов и наиболее важных нейтронных сечений рекомендуется в библиотеку РОСФОНД'а для хрома-52 принять оценку нейтронных данных из библиотеки JEFF-3.1.

Автор рекомендации

Кощеев В.Н.

24.4. Хром-53

Ниже рассматриваются две современные оценки нейтронных данных, а именно – ENDF/B-VII betha1 version и JENDL-3.3. По каждой оценке приводятся краткие пояснения. Отметим, что в библиотеке JEFF-3.1 находится оценка ENDF/B-VI.8=ENDF/B-VIIb1. В библиотеке ФОНД-2.2 находится оценка из БРОНД-2.2, которая явно проигрывает вышеупомянутым оценкам. В дальнейшем сечения из библиотеки БРОНД-2 не рассматривались, поскольку при ее компиляции не учитывались экспериментальные данные, выполненные с высоким разрешением в последующие после оценки годы.

ENDF/B

Последняя версия (ENDF/B-VIIb1) содержит оценку ORNL, выполненную в 1989 году авторским коллективом: D.Hetrick, D.Larson, N.Larson и C.Fu.

Основные моменты:

Используются программы DWUCK, в которой ядерная модель описывается THE DISTORTED WAVE BORN APPROXIMATION (DWBA) и программа TNG, в которой используется формализм Хаузера-Фешбаха.

С помощью TNG получены угловые и энергетические распределения частиц, испускаемых в реакциях по модели компаунд ядра и предравновесного процесса. При этом обеспечивается согласованность между всеми реакциями и обеспечивается энергетический баланс оцененных данных.

Область резонансных энергий от 1.E-5 эВ до 200 кэВ. Резонансные параметры для формализма Райха-Мура получены на основе частного сообщения группы Бруссегана и др. Резонансные параметры подгонялись под результаты работы Харви и Агравела (1988).

Полное сечение выше 200 кэВ получено при анализе нескольких наборов измерений с высоким разрешением, которые также использовались и при получении резонансных параметров.

Сечения уровней неупругого рассеяния получены при помощи программы TNG, в которой учитывается вклад прямых процессов с подгонкой под экспериментальные данные. Сечение континуума уровней получено также при помощи TNG.

Сечение радиационного захвата выше 200 кэВ получено на основе расчетов по TNG программе.

Сечение реакции (n,2n) и сечения реакций с вылетом заряженных частиц получены при помощи TNG расчетов. При этом учитывались немногочисленные экспериментальные данные.

JENDL-3.3

В основе лежит оценка Асами, выполненная для JENDL-3 в 1987 году. В 1988 году проведена небольшая модификация данных, а именно $mf/mt=3/107$.

В 1993 году для версии JENDL-3.2 часть данных была переоценена.

В 2000 году данные переоценены Асами, а в 2001 году скомпилированы K.Shibata (JAERI) для последующей версии библиотеки JENDL-3.3. Изменения коснулись данных в следующих разделах

MF2

MT151 – резонансные параметры пересмотрены. Область резонансных параметров увеличена до 245 кэВ. Используется формализм Райха- Мура.

MF1

	MT2	пересчитано с учетом баланса сечений;
	MT28, 102, 103, 107	сечения пересмотрены;
	104, 105, 106,	сечения переоценены заново;
	111, 203, 207,	сечения переоценены заново;
MF4, MF5	MT16, 22, 28, 91	данные исключены.
MF6		
	MT16, 22, 28, 91,	взяты из JENDL fusion file;
	206, 207	взяты из JENDL fusion file.
MF12, MF15	MT16-107	данные пересмотрены.

1. Общие характеристики

Z=24

A=52.940 649 ± 0.000 001

A_{wr}=52.485 862 ± 0.000 001

Содержание в естественной смеси: - 9.500%

Перечень нейтронных реакций

MT	Реакция	Q, МэВ	Е _{порог.} , МэВ	Ядро-продукт ^{*)}
4	(n,n')	-0.5640	0.5747	Cr-53
16	(n,2n)	-7.9405	8.0918	Cr-52
22	(n,na)	-9.1514	9.3258	Ti-49
28	(n,np)	-11.1330	11.3447	V-52(3.75m)
102	(n,γ)	9.7193	0.0	Cr-54
103	(n,p)	-2.6403	2.6906	V-53(1.6m)
104	(n,d)	-8.9085	9.0779	V-52(3.75m)
105	(n,t)	-9.9617	10.1512	V-51
106	(n,He3)	-12.4048	12.6407	Ti-51(5.8m)
107	(n,a)	1.7903	0.0	Ti-50
111	(n,2p)	-12.3257	12.5601	Ti-52(1.7m)

Схема уровней: (согласно оценке JENDL-3.3)

MT	LEVEL ENERGY (MEV)	SPIN-PARITY
	0.0	3/2-
51	0.5640	1/2-
52	1.0063	5/2-

53	1.2895	7/2-
54	1.5366	7/2-
55	1.9736	5/2-
56	2.1724	11/2-
57	2.2330	9/2-
58	2.3208	3/2-
59	2.4531	3/2-
60	2.6695	1/2-
61	2.7720	5/2-
62	2.8266	11/2-
63	2.9930	7/2-
91(cont)	3.0500	

Радиоактивность: не радиоактивен.

2. Резонансная область: (MF=2)

2.1. Спин и четность $J^\pi = 3/2^-$

2.2. Радиус рассеяния: $R = 0.548 \cdot 10^{-12} \text{ см.}$

2.3. Область разрешенных резонансов.

Некоторые характеристики для области резонансных энергий приведены в таблице 4. Они получены с помощью программы INTER из комплекса программ ENDF UTILITY CODES (release 6.13, July 2002).

Таблица 4. Резонансные свойства Cr-53

Оценка	Граница области RRR, keV	$\sigma_\gamma(2200)$, барн	G-factor	I_γ , барн
ENDF/B	200	18.06	1.0001	8.41
JENDL	245	17.59	1.0001	8.35
Mughabghab		18.2 ± 1.5	1.0003	8.9 ± 0.9

Из приведенной в таблице 1 информации видно, что обе оценки согласуются с рекомендациями Мухабхаба. Несколько лучшее согласие с оцененным значением сечения захвата из компиляции Мухабхаба имеет оценки ENDF/B.

На рисунке 17 приводятся графики нарастающих сумм резонансов для S, и P-волн.

Из приведенного на графике 17 сравнения видно, что наиболее полный набор резонансных параметров находится в ENDF/B. Особенно это касается количества P-резонансов.

ВЫВОДЫ:

Из проведенного сравнения следует, что для РОСФОНДА предпочтительнее использовать оценку параметров разрешенных резонансов из ENDF/B.

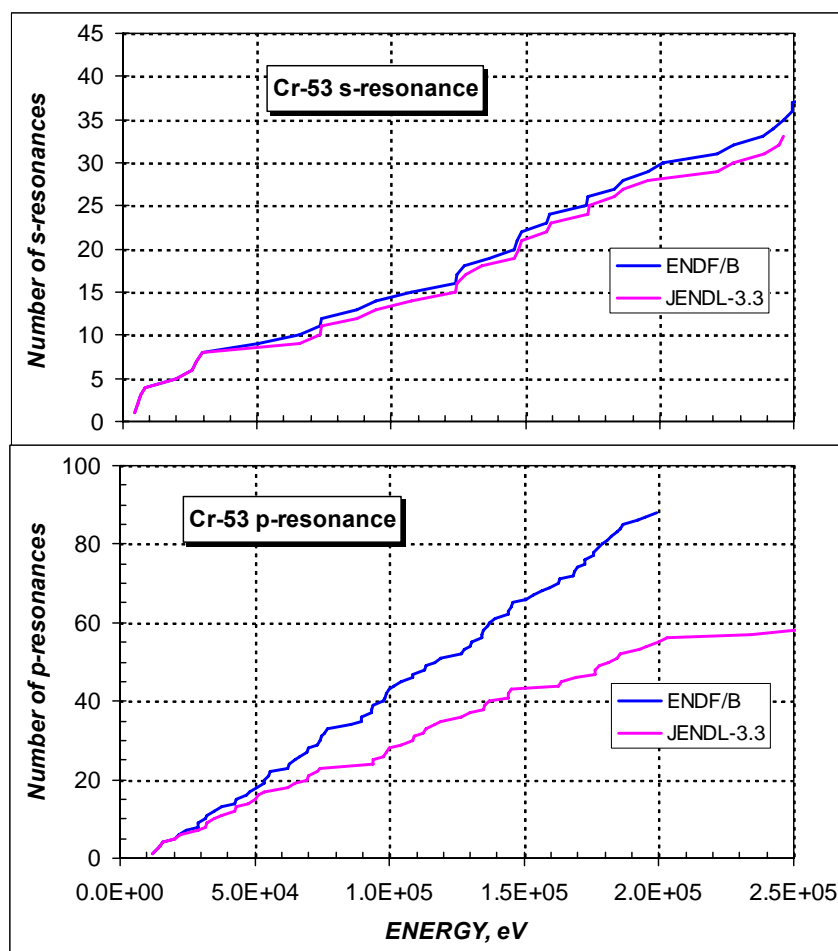


Рисунок 17 – Нарастающие суммы резонансов для Cr-53.

3. Сечения нейтронных реакций

3.1. Полное сечение

На рисунке 18 представлены энергетический ход сечения полного взаимодействия из библиотеки ENDF/B-VI (rev.1), переработанные в 299 мультигрупповое представление, и отклонения от него сечений из библиотеки JENDL-3.3. в области резонансных энергий 0.01 эВ -100 кэВ.

Из рисунка 18 видно, что в резонансной области энергий ~ до 100 кэВ различия в полном сечении достигает до 50%. Оно связано, главным образом, с полнотой набора резонансных параметров, описывающих резонансное взаимодействие нейтронов с нуклидом.

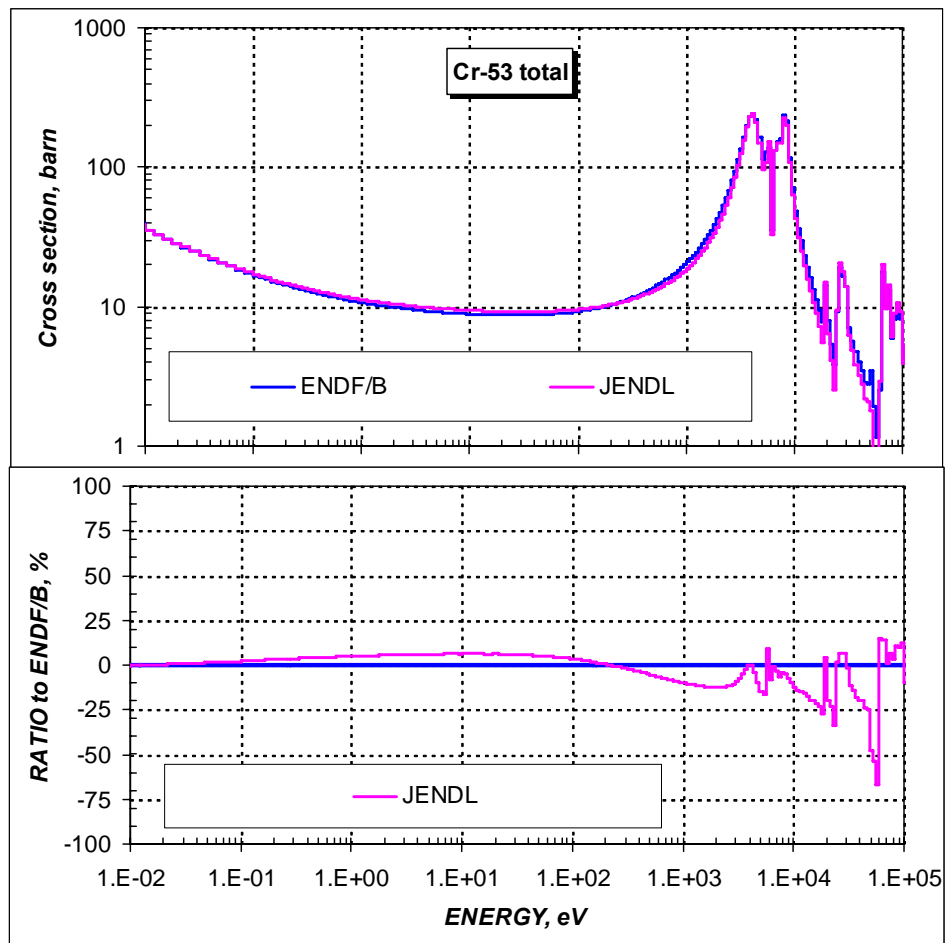


Рисунок 18 – Ход полного сечения Cr-53 в области энергий 0.01 эВ – 100 кэВ.

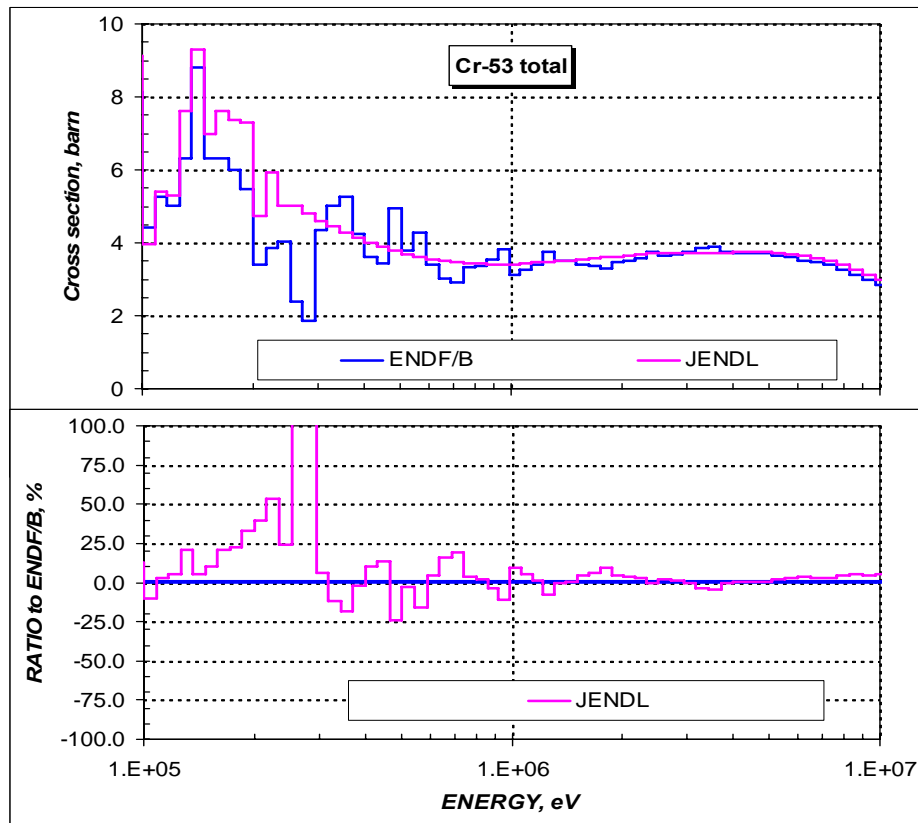


Рисунок 19 – Ход полного сечения Cr-53 в области энергий 100 кэВ – 10 МэВ.

Ниже, на рисунке 19 показан аналогичный ход полного сечения в области энергии 100 кэВ - 10 МэВ.

Из представленной на рисунке 19 информации видно, что максимальные различия между JENDL и ENDF/B-VI достигают до 100%. в области энергий 200-300 кэВ. В этой области энергий оказались доступными экспериментальные данные Мюллера(1971). Сравнение экспериментальных и оцененных кривых представлено на рисунке 20.

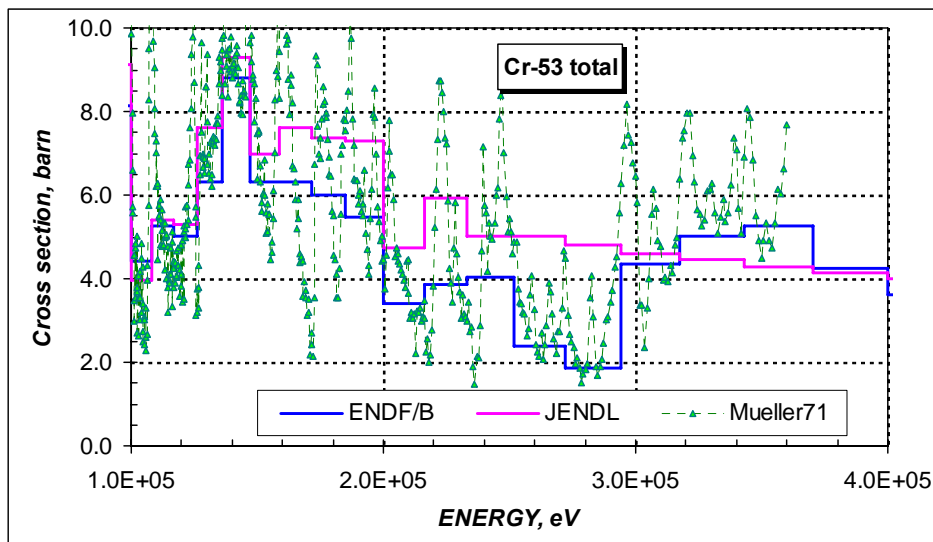


Рисунок 20 – Сравнение полного сечения Cr-53 в области энергий 100 – 400 кэВ.

Из представленного на рисунке 20 сравнения видно, что в области энергий выше 200 кэВ с экспериментальными данными наилучшим образом согласуется оценка ENDF/B.

В области МэВ-ных энергий имеется два набора экспериментальных данных по измерению полного сечения. Сравнение оцененных сечений с экспериментом приведено на рисунке 21.

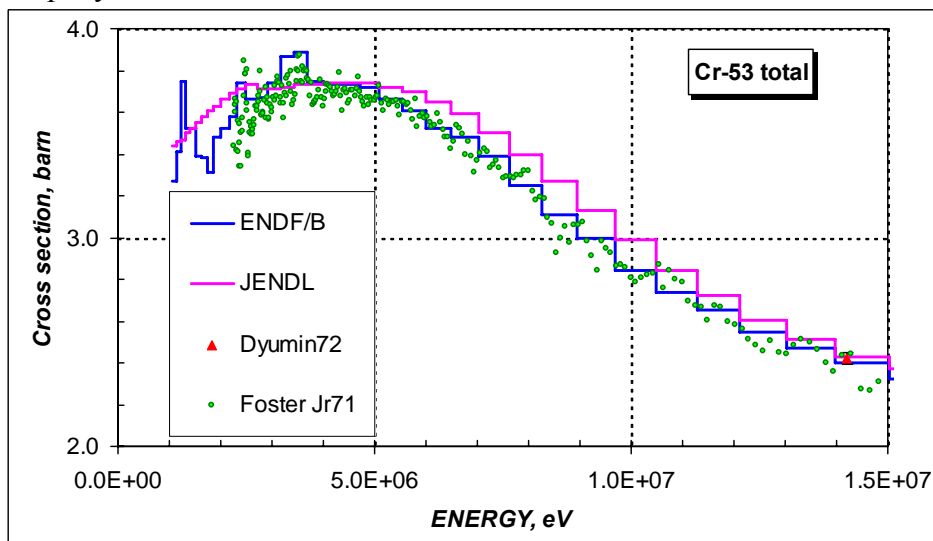


Рисунок 21 – Ход полного сечения Cr-53 в области энергий 2 – 20 МэВ.

Из приведенного на рисунке 21 сравнения видно, что оценка ENDF/B согласуется с экспериментом, в то время как оценка JENDL проходит выше экспериментальных данных.

ВЫВОДЫ:

Таким образом, полное сечение из оценки ENDF/B является более предпочтительным, чем из оценки JENDL.

3.2. Сечение радиационного захвата

На рисунке 22 представлены энергетический ход сечения радиационного захвата нейтронов из библиотеки ENDF/B-VI (rev.1), переработанные в 299 мультигрупповое представление, и отклонения от него сечений из библиотеки JENDL-3.3. в области резонансных энергий 10 эВ - 100 кэВ. Там же приведены и различия в оценках, выраженные в процентах отношения к оценке ENDF/B.

На другом рисунке 23 представлено сравнение оцененных сечений радиационного захвата нейтронов на Cr-53 в области энергий от 100 кэВ до 10 МэВ. Экспериментальные данные, в этой области энергий отсутствуют.

ВЫВОДЫ:

Отсутствие экспериментальных данных не позволяет определить наиболее надежную оценку сечения радиационного захвата нейтронов на Cr-53.

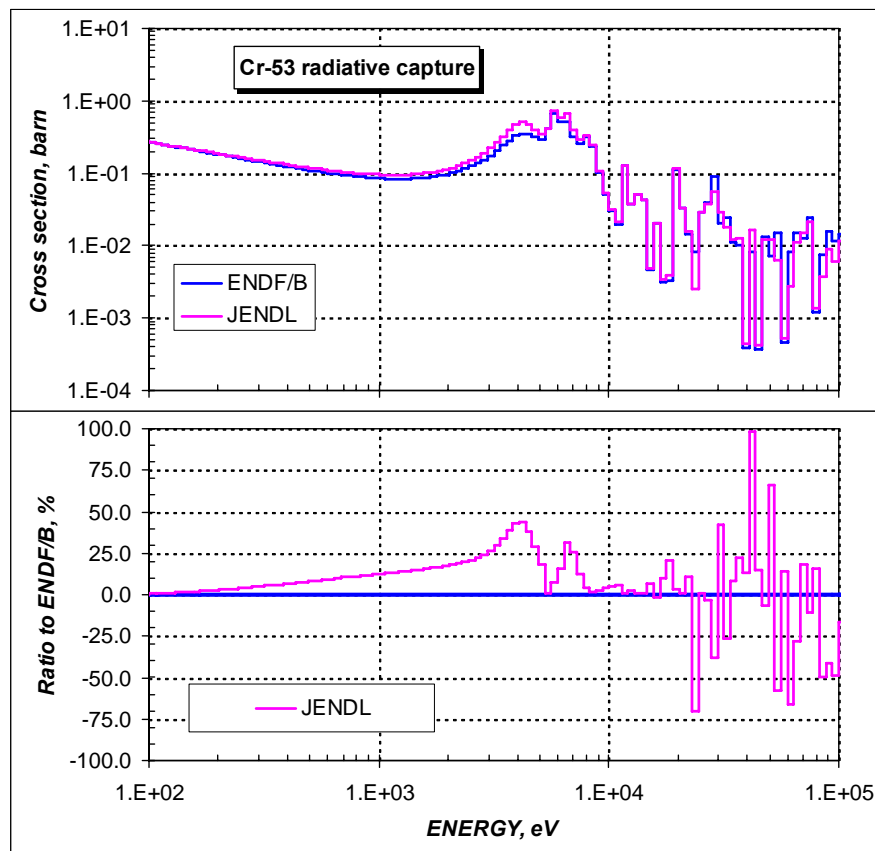


Рисунок 22 – Ход сечения радиационного захвата нейтронов на Cr-53 в области энергий 100 эВ – 100 кэВ.

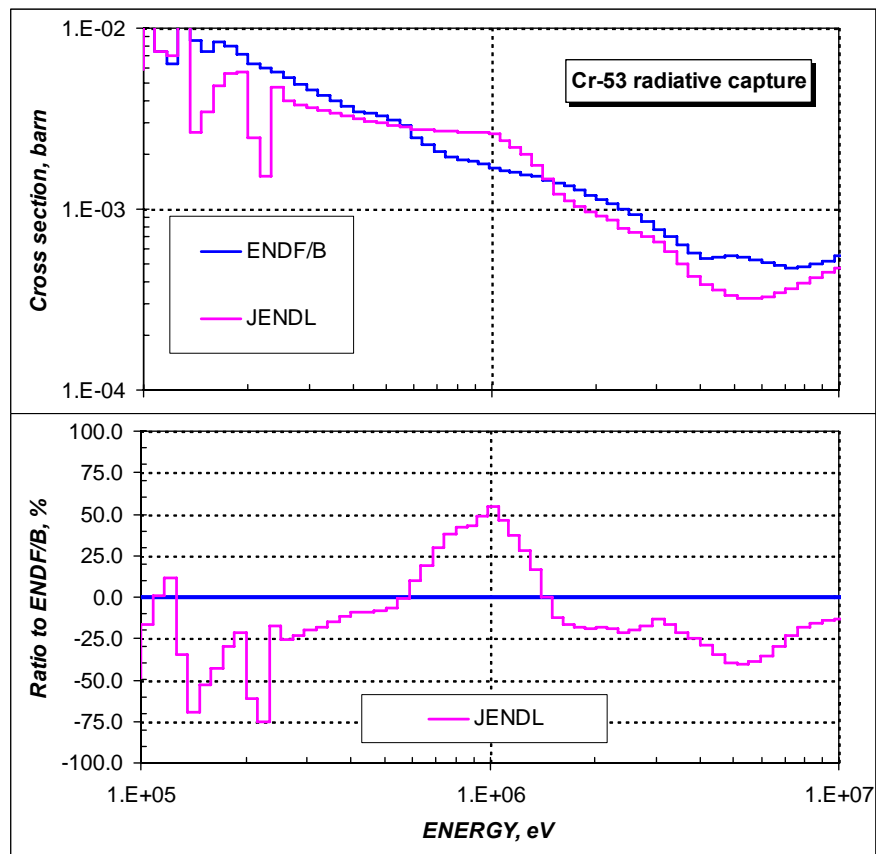


Рисунок 23 – Ход сечения радиационного захвата нейтронов на Cr-53 в области энергий 100 кэВ – 10 МэВ.

3.3. Сечение неупругого рассеяния

На рисунке 24 представлено сравнение оцененных сечений неупругого рассеяния нейтронов на Cr-53 с экспериментальными данными.

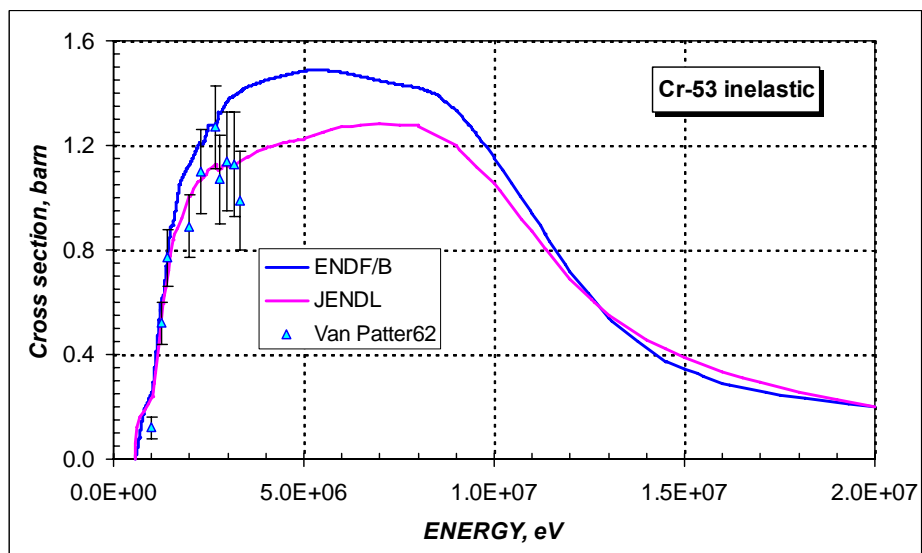


Рисунок 24 – Энергетическая зависимость сечения неупругого рассеяния нейтронов на Cr-53 в области энергий до 20 МэВ.

Из приведенного на рисунке 24 сравнения видно, что имеющиеся экспериментальные данные наилучшим образом описывает оценка JENDL. В области энергий от 2 до 10 МэВ оцененные сечения различаются между собой до 30 %.

ВЫВОДЫ:

Сечение неупругого рассеяния на Cr-53 наилучшим образом описывает оценка JENDL..

3.4. Сечение реакции (n,p)

Сравнение оцененных сечений реакции (n,p) было проведено, поскольку для этой реакции имелся достаточно представительный набор экспериментальных данных.

На рисунке 25 показано сравнение оцененных сечений и экспериментальных данных для сечения реакции (n,p).

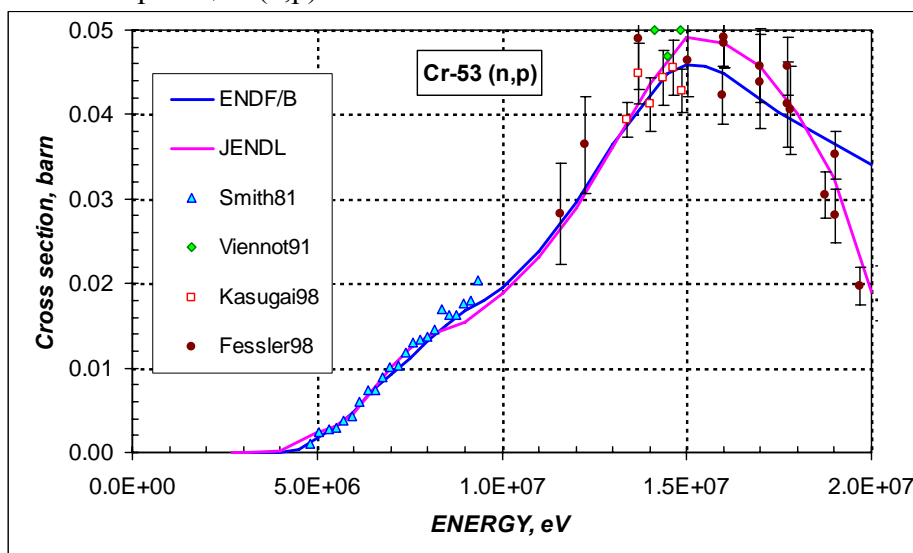


Рисунок 25 – Сравнение оцененных сечений реакции (n,p) на Cr-53.

Из приведенного на рисунке 25 сравнения видно, что вплоть до 15 МэВ обе оценки хорошо согласуются между собой и описывают экспериментальные данные. Выше 15 МэВ оценка JENDL лучше согласуется с экспериментальными данными.

ВЫВОДЫ:

Сечение реакции (n,p) на Cr-53 наилучшим образом описывает оценка JENDL.. Однако, до 15 МэВ обе оценки практически не различаются между собой.

Заключение

На основе проведенного анализа параметров разрешенных резонансов и наиболее важных нейтронных сечений, в библиотеку РОСФОНД'а для хрома-53 рекомендуется принять оценку нейтронных данных из библиотеки JEFF-3.1~ ENDF/B-VII. В JEFF нейтронные данные приводятся до 20 МэВ, в то время как оценка ENDF/B содержит нейтронные данные до 150 МэВ.

Ковариационные данные следует исключить. Они будут анализироваться в дальнейшем.

Автор рекомендации

Кощеев В.Н.

24.5. Хром-54

Оцененные данные рассматриваются в диапазоне энергий до 20 МэВ. Различные модификации, выполненные выше 20 МэВ, не комментируются.

Экспериментальные данные, используемые при сравнении с оцененными кривыми, взяты из интерактивной библиотеки EXFOR-CINDA (Database and Retrieval System, version 1.80, June 2005).

Ниже рассматриваются две современные оценки нейтронных данных, а именно – ENDF/B-VII betha1 version и JENDL-3.3. По каждой оценке приводятся краткие пояснения. Отметим, что в библиотеке JEFF-3.1 находится оценка ENDF/B-VI.8=ENDF/B-VIIb1.

ENDF/B

Последняя версия (ENDF/B-VIIb1) содержит оценку ORNL, выполненную в 1989 году авторским коллективом: D.Hetrick, D.Larson, N.Larson и C.Fu. (ORNL).

Основные моменты:

Используются программы DWUCK, в которой ядерная модель описывается THE DISTORTED WAVE BORN APPROXIMATION (DWBA) и программа TNG, в которой используется формализм Хаузера-Фешбаха.

С помощью TNG получены угловые и энергетические распределения частиц, испускаемых в реакциях по модели компаунд ядра и предравновесного процесса. При этом обеспечивается согласованность между всеми реакциями и обеспечивается энергетический баланс оцененных данных.

Область резонансных энергий от 1.E-5 эВ до 900 кэВ. Резонансные параметры для формализма Райха-Мура получены на основе результатов работы Харви и Агравела (1984). В области энергий 100 – 900 кэВ в захват добавляется подложки (MF3, MT102) для согласования с усредненными экспериментальными данными.

Полное сечение выше 900 кэВ получено при анализе нескольких наборов измерений с высоким разрешением, которые также использовались и при получении резонансных параметров.

Сечения первых четырех уровней неупругого рассеяния получены при помощи программы TNG, в которой учитывается вклад прямых процессов с подгонкой под экспериментальные данные. Сечение континуума уровней получено также при помощи TNG.

Сечение радиационного захвата выше 900 кэВ получено на основе расчетов по TNG программе.

Сечение реакции (n,2n) и сечения реакций с вылетом заряженных частиц получены при помощи TNG расчетов. При этом учитывались немногочисленные экспериментальные данные.

JENDL-3.3

В основе лежит оценка Асами, выполненная для JENDL-3 в 1987 году. В 1988 году проведена небольшая модификация данных, а именно mf/mt=3/107.

В 1993 году для версии JENDL-3.2 часть данных была переоценена.

В 2000 году данные переоценены Асами, а в 2001 году скомпилированы K.Shibata (JAERI) для последующей версии библиотеки JENDL-3.3. Изменения коснулись данных в следующих разделах

MF2

MT151 – резонансные параметры пересмотрены. Область резонансных параметров увеличена до 750 кэВ. Используется формализм Райха- Мура.

MF1

MT2

пересчитано с учетом баланса сечений;

MF4,MF5 MF6	MT102, 104, 105, 106, 1116 203, 207	сечение пересмотреноI; сечения переоценены заново; сечения переоценены заново I.
	MT16, 22, 28, 91	данные исключены.
MF12, MF15	MT16, 22, 28, 91, 206, 207	взяты из JENDL fusion file; взяты из JENDL fusion file.
	MT16 - 107	данные оценены заново.

1. Общие характеристики

Z=24

A=53,938 880 ± 0.000 001

Awr=53,475 518 ± 0.000 001

Содержание в естественной смеси: - 2,365%

Перечень нейтронных реакций

MT	Реакция	Q, МэВ	Е _{порог.} , МэВ	Ядро-продукт ^{*)}
4	(n,n')	-0.8349	0.8505	Cr-54
16	(n,2n)	-9.7202	9.9020	Cr-53
22	(n,na)	-7.9236	8.0718	Ti-50
28	(n,np)	-12.3605	12.5916	V-53(1.6m)
102	(n,γ)	7.9401	0.0	Cr-55(3.5m)
103	(n,p)	-6.2198	6.3361	V-54(50s)
104	(n,d)	-10.1485	10.3383	V-53(1.6m)
105	(n,t)	-12.3697	12.6010	V-52(3.75m)
106	(n,He3)	-14.3223	14.5901	Ti-52(1.7m)
107	(n,a)	-1.5466	1.5755	Ti-51(5.8m)
111	(n,2p)	-16.6077	16.9183	Ti-53(3.75m)

Схема уровней: (согласно оценке JENDL-3.3)

MT	LEVEL	ENERGY (MEV)	SPIN-PARITY
		0.0	0+
51		0.8349	2+
52		1.8237	4+
53		2.6195	2+
54		2.8294	0+
55		3.0739	2+
56		3.1600	4+
91(cont)		3.2000	

Радиоактивность: не радиоактивен.

2. Резонансная область: (MF=2)

2.1. Спин и четность $J^\pi = 0^+$;

2.2. Радиус рассеяния: $R = 0.53 \cdot 10^{-12}$ см.

2.3. Область разрешенных резонансов.

Некоторые характеристики для области резонансных энергий приведены в таблице 5. Они получены с помощью программы INTER из комплекса программ ENDF UTILITY CODES (release 6.13, July 2002).

Таблица 5. Резонансные свойства Cr-54.

Оценка	Граница области RRR, keV	$\sigma_{\gamma}(2200)$, барн	G-fact	I_{γ} , барн
ENDF/B	900	0.360	1.0001	0.190
JENDL	750	0.342	1.0001	0.171
Mughabghab		0.36 ± 0.04	1.0003	0.20 ± 0.03

Из приведенной в таблице 5 информации видно, что обе оценки согласуются с рекомендациями Мухабхаба. Лучшее согласие с оцененным значением сечения захвата из компиляции Мухабхаба имеет оценки ENDF/B.

На рисунке 26 представлены энергетический ход сечения полного взаимодействия из библиотеки ENDF/B-VI (rev.1), переработанные в 299 мультигрупповое представление, и отклонения от него сечений из библиотеки JENDL-3.3. в области резонансных энергий 100 эВ - 1 МэВ.

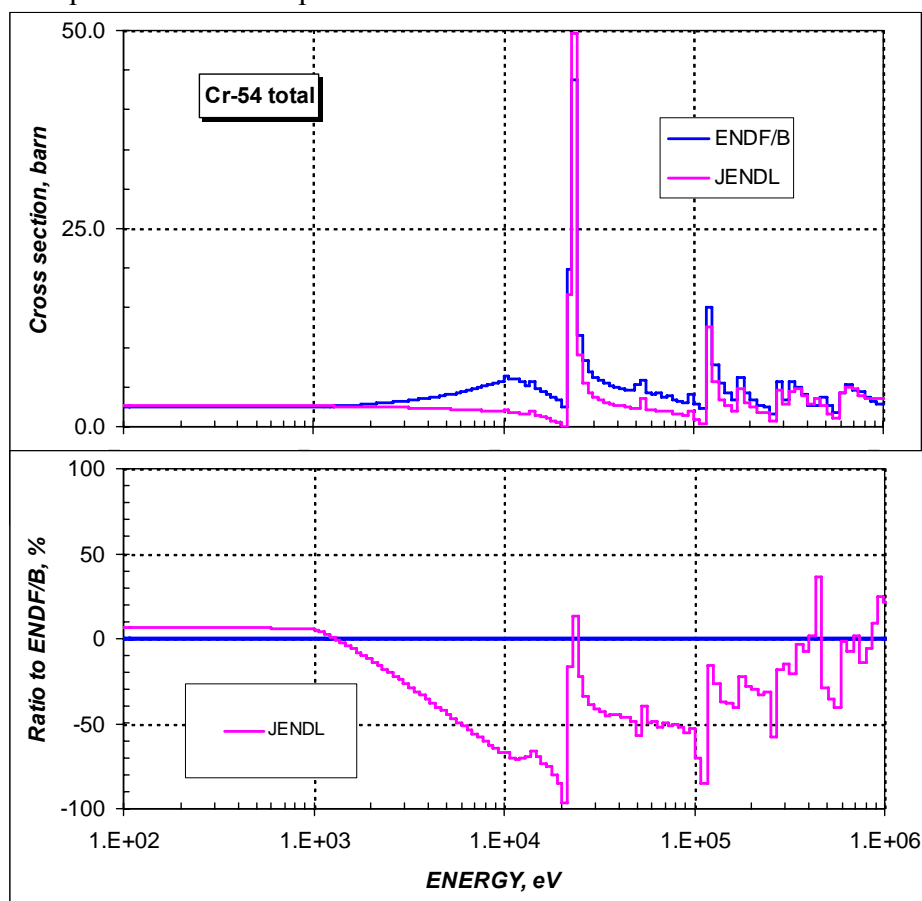


Рисунок 26 – Ход полного сечения Cr-54 в области энергий 100 эВ – 1 МэВ.

Из представленного на рисунке 26 сравнения видно, что полное сечение из JENDL-3.3, в среднем, на 50 % ниже, чем в ENDF/B. Особенно это заметно на первых двух резонансных уровнях. Сравнение резонансных параметров для первого S-резонансного уровня показано в таблице 6. Там же приводятся значения резонансных параметров, определенные авторами экспериментальных работ. Следует отметить, что в ENDF/B использовалась работа Agarwal et al. В оценке JENDL - остальные

источники. Из приведенных в таблице 6 результатов сравнения видно, что в оценке ENDF/B неоправданно завышено значение нейтронной ширины в три раза (!). В то время как, все экспериментальные данные согласуются с оценкой JENDL.

Таблица 6 – Сравнение резонансных параметров для первого S-уровня.

	EN	AJ	GN	GG
ENDF/B	2.2624E+04	0.5	1866.1	0.202
JENDL	2.3050E+04	0.5	600.0	0.190
Stieglitz-71	2.3100E+04		590.0±35.0	0.190±0.050
Agarwal-86	2.3050E+04		600.0±50.0	
Froener-77	2.3050E+04	0.5	590.0	

Далее, на рисунке 27 представлены энергетический ход сечения радиационного захвата нейтронов из библиотеки ENDF/B-VI (rev.1), переработанные в 299 мультигрупповое представление, и отклонения от него сечений из библиотеки JENDL-3.3. в области резонансных энергий 100 эВ - 1 МэВ.

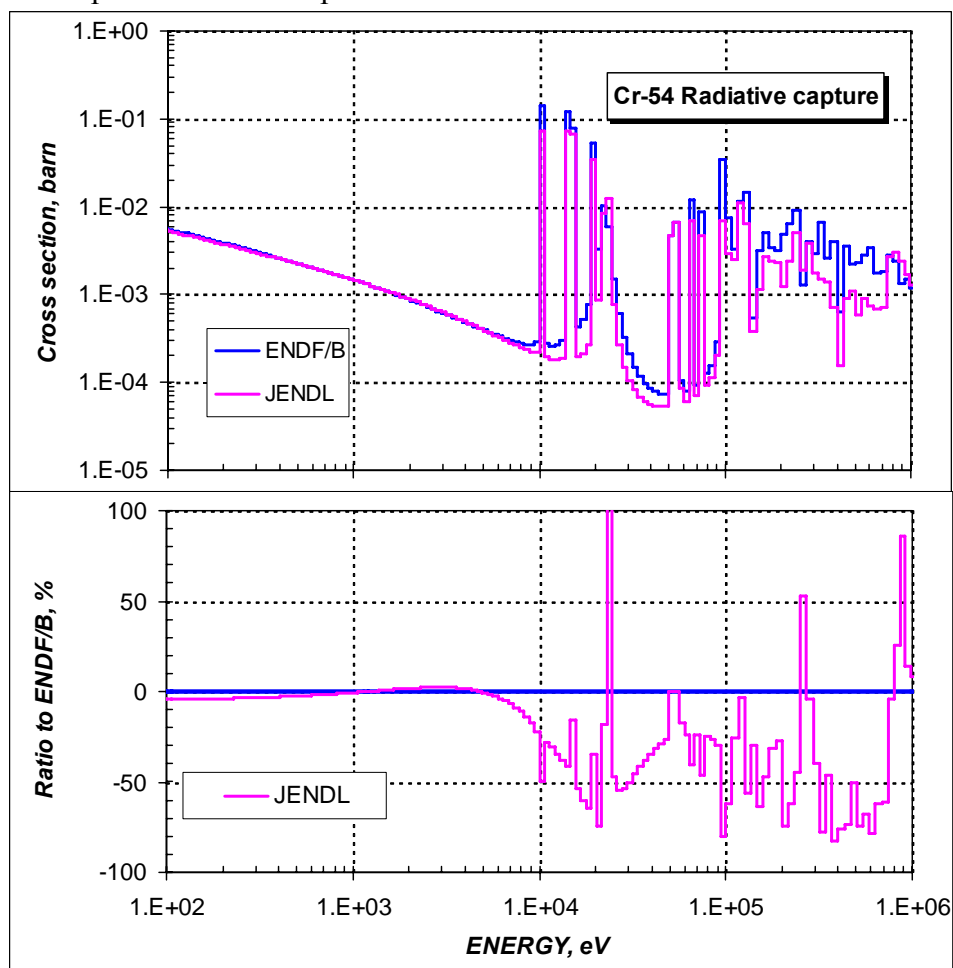


Рисунок 27 – Ход сечения радиационного захвата нейтронов в области энергий 100 эВ – 1 МэВ.

Из представленного на рисунке 27 сравнения видно, что и сечение радиационного захвата нейтронов из JENDL-3.3, в среднем, на 50 % ниже, чем в ENDF/B. Имеющиеся в этой области энергий экспериментальные данные

представляют собой усредненные по энергетическим интервалам значения. Сравнения оцененных сечений и экспериментальных величин показано на рисунке 28.

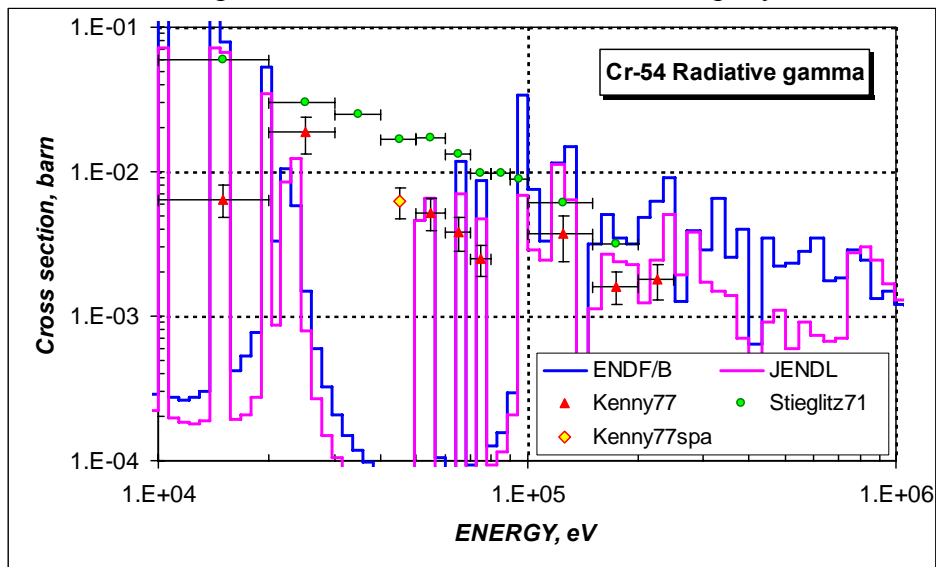


Рисунок 28 – Ход сечения радиационного захвата нейтронов в области энергий 10 кэВ – 1 МэВ.

Из приведенного на рисунке 28 сравнения видно, что данные Стиглица-71 не согласуются с оцененными значениями сечения в области энергий 30 – 100 кэВ. Экспериментальные данные Кенни-77 в области энергий выше 100 кэВ лучше согласуются с оценкой из JENDL, нежели с ENDF/B.

ВЫВОДЫ:

Из проведенного анализа параметров разрешенных резонансов следует, что для РОСФОНДА предпочтительнее использовать оценку параметров разрешенных резонансов из оценки JENDL.

3. Сечения нейтронных реакций

3.1. Полное сечение

На рисунке 29 представлены энергетический ход сечения полного взаимодействия из библиотеки ENDF/B-VI (rev.1), переработанные в 299 мультигрупповое представление, и отклонения от него сечений из библиотеки JENDL- в области энергий выше 1 МэВ.

Из приведенного на рисунке 29 сравнения видно, что оценки в этом интервале энергий согласуются друг с другом в пределах лучше, чем 10 %. Экспериментальная точка Демина-72 лучше согласуется с оценкой JENDL.

Следует отметить, что нам не удалось использовать экспериментальные данные с высоким разрешением Агарвола(1986), выполненные в ORNL. По-видимому, в библиотеке EXFOR приводятся не сами наблюдаемые сечения, а некие функционалы от полного сечения, которые нам не удалось определить.

ВЫВОДЫ:

Имеющиеся экспериментальные данные не позволяют определить наиболее надежную оценку полного сечения взаимодействия нейтронов с ядром Cr-54.

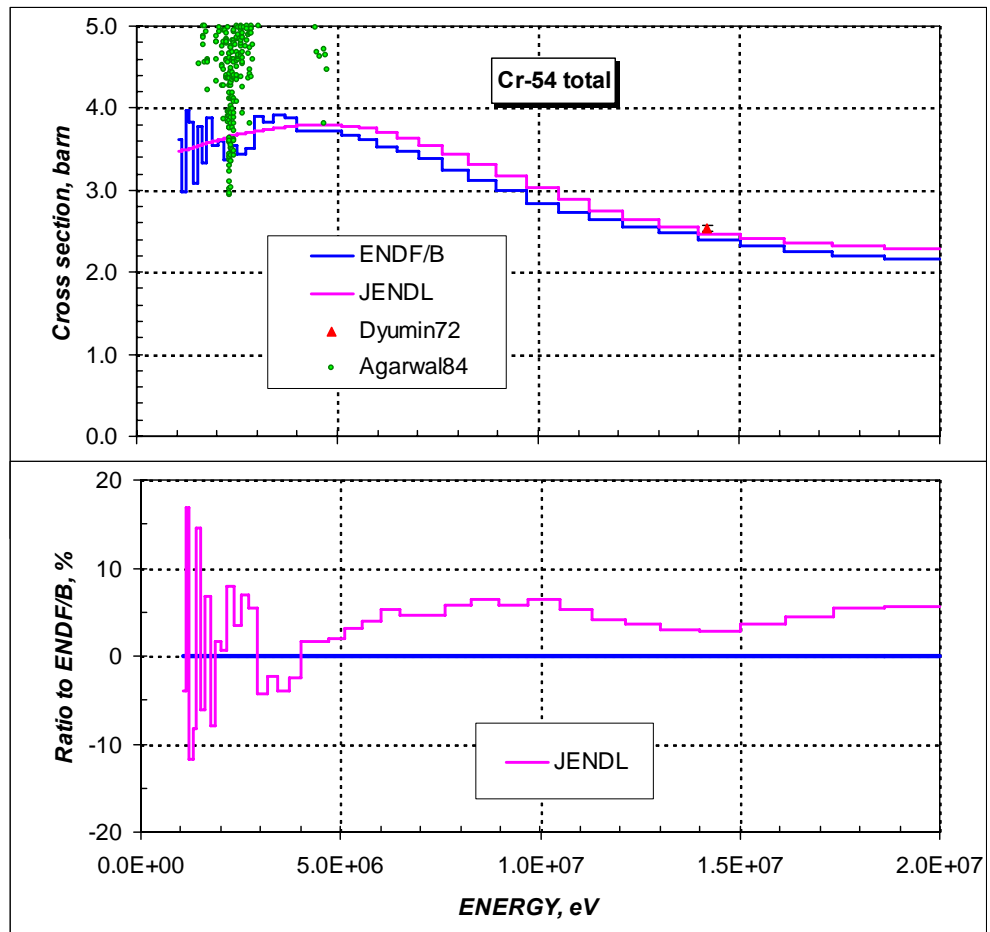


Рисунок 29 – Ход полного сечения Cr-54 в области энергий выше 1 МэВ.

3.2. Сечение радиационного захвата

На рисунке 30 представлены энергетический ход сечения радиационного захвата нейтронов из библиотеки ENDF/B-VI (rev.1), переработанные в 299 мультигрупповое представление, и отклонения от него сечений из библиотеки JENDL-3.3. в области резонансных энергий выше 1.0 МэВ. Там же приведены и различия в оценках, выраженные в процентах отношения к оценке ENDF/B.

Экспериментальные данные, в этой области энергий отсутствуют.

Вследствие этого нет возможности достоверно сделать выбор оцененного сечения радиационного захвата нейтронов в области энергий выше 1 МэВ. Обе оценки согласуются между собой в пределах 10-20 %.

ВЫВОДЫ:

Отсутствие экспериментальных данных не позволяет определить наиболее надежную оценку сечения радиационного захвата нейтронов на Cr-54.

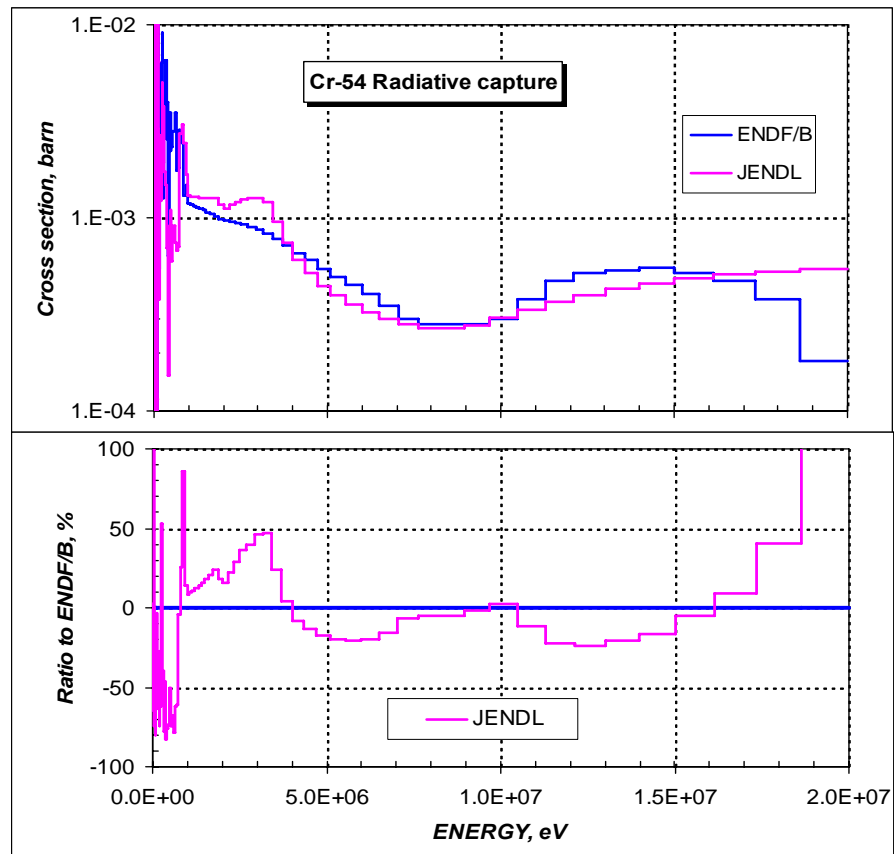


Рисунок 30 – Ход сечения радиационного захвата нейтронов в области энергий выше 1 МэВ.

3.3. Сечение неупругого рассеяния

На рисунке 31 представлено сравнение оцененных сечений неупругого рассеяния нейтронов на Cr-54 с экспериментальными данными.

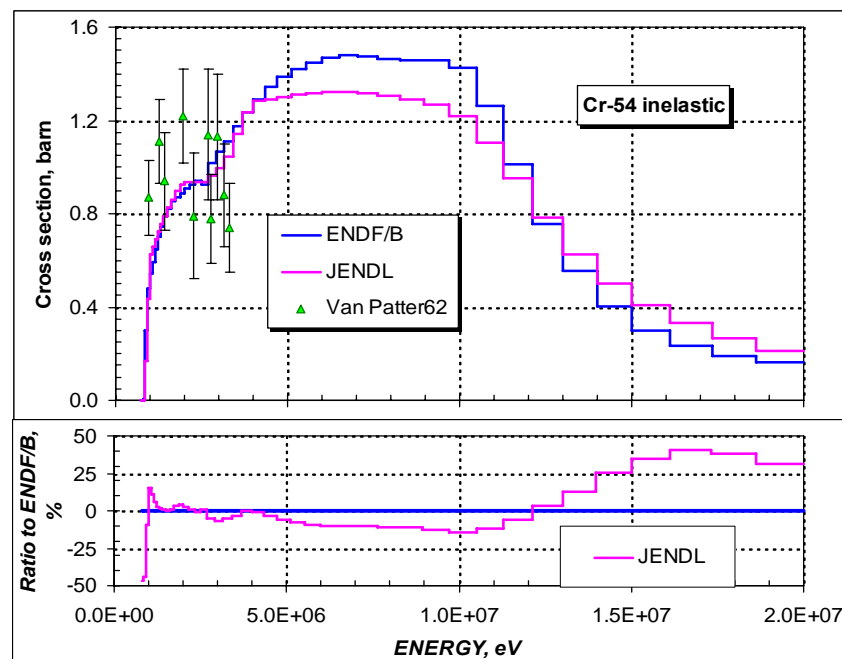


Рисунок 31– Энергетическая зависимость сечения неупругого рассеяния нейтронов на Cr-54 в области энергий до 20 МэВ.

Из приведенного на рисунке 24 сравнения видно, что имеющиеся экспериментальные данные не позволяют определить наиболее надежную оценку сечения неупругого рассеяния. В области энергий от 2 до 15 МэВ оцененные сечения различаются между собой в пределах 20 - 25 %.

ВЫВОДЫ:

Имеющиеся экспериментальных данных не позволяет определить наиболее надежную оценку сечения неупругого рассеяния нейтронов на Cr-54.

3.4. Сечение реакции (n,a)

Сравнение оцененных сечений реакции (n,a) было проведено, поскольку для этой реакции имелся достаточно представительный набор экспериментальных данных.

На рисунке 32 показано сравнение оцененных сечений и экспериментальных данных для сечения реакции (n,a).

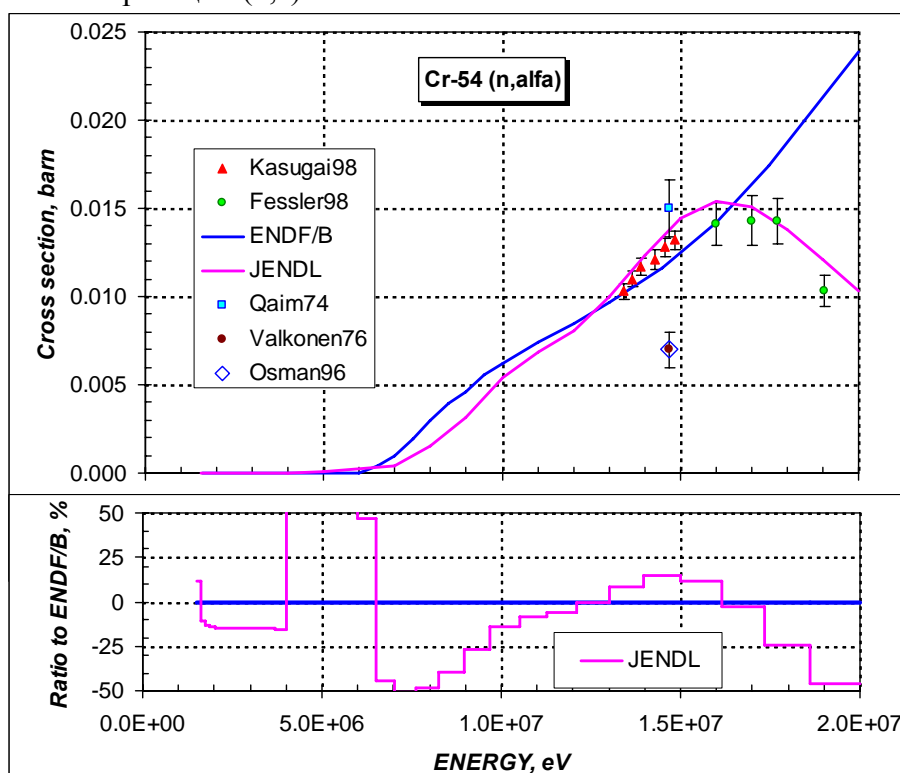


Рисунок 32 – Сравнение оцененных сечений реакции (n,a) на Cr-54.

Из приведенного на рисунке 32 сравнения видно, что вплоть до 15 МэВ обе оценки достаточно хорошо согласуются между собой и описывают экспериментальные данные. Выше 15 МэВ оценка JENDL лучше согласуется с экспериментальными данными.

ВЫВОДЫ:

Сечение реакции (n,a) на Cr-54 наилучшим образом описывает оценка JENDL.

Заключение

На основе проведенного анализа параметров разрешенных резонансов и наиболее важных нейтронных сечений и с рекомендуется в библиотеку РОСФОНД'а для хрома-54 принять оценку нейтронных данных из библиотеки JENDL-3.3.

Автор рекомендации

Кощев В.Н.

24.6. Хром-природный

Из перечисленных оцененных данных были получены нейтронные сечения для природной смеси хрома. Ниже приведено сравнение оцененных сечений полного взаимодействия Cr-nat с имеющимися экспериментальными данными.

На рисунке 33 приводится сравнение оцененных сечений полного взаимодействия в области резонансных энергий от 0.01 эВ до 10 эВ с имеющимися экспериментальными данными.

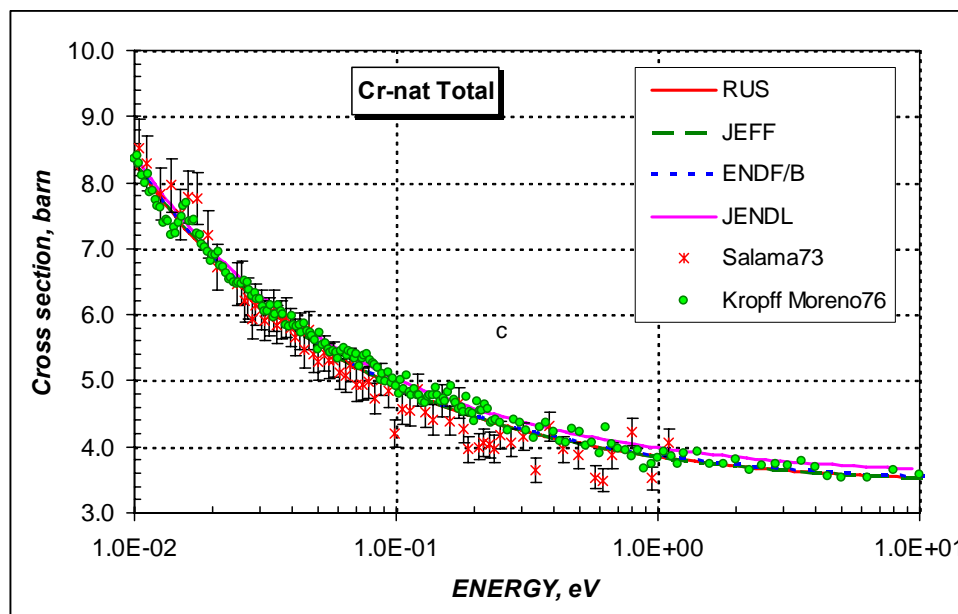


Рисунок 33 – Ход полного сечения Cr-nat в области энергий 0.01 - 10 эВ.

Из приведенного на рисунке 33 сравнения видно, что только оценка JENDL лежит выше совокупности экспериментальных данных. В то время, как остальные оценки практически совпадают друг с другом.

В таблице 7 сравниваются характеристики сечения радиационного захвата нейтронов в тепловой точке, резонансный интеграл и сечение, усредненное на спектре деления. Все значения получены с помощью программы INTER и пакета программ PREPRO-2002.

Таблица 7. Характеристики сечения радиационного захвата Cr-nat.

Оценка	$\sigma_\gamma(2200)$, барн	G-fact	I_γ , барн	$\sigma_\gamma(fis)$, мбарн
ENDF/B	3.04	1.0001	1.50	2,02
JEFF	3.05	1.0001	1.51	2,20

JENDL	3.02	1.0001	1.50	2,35
RUSFOND	3.05	1.0001	1.51	2,19
Mughabghab	3.07 ± 0.08	1.0003	1.6 ± 0.1	

Из приведенной в таблице 7 информации видно, что все оценки сечения радиационного захвата нейтронов согласуются со значениями, рекомендованными в компиляции Мухабхаба. Сечения в быстрой области энергий, усредненные по спектру деления U-235, различаются между собой до 15 - 20%.

На рисунке 34 приводится сравнение оцененных сечений полного взаимодействия в области резонансных энергий от 100 эВ до 1 МэВ и различия в сечениях от оценки ENDF/B (%) на основе 299 групповых констант. Из приведенного сравнения видно, что оценка Росфонда и JEFF близки друг к другу, поскольку в Росфонде нейтронные данные для основного нуклида (Cr-52) приняты из JEFF.

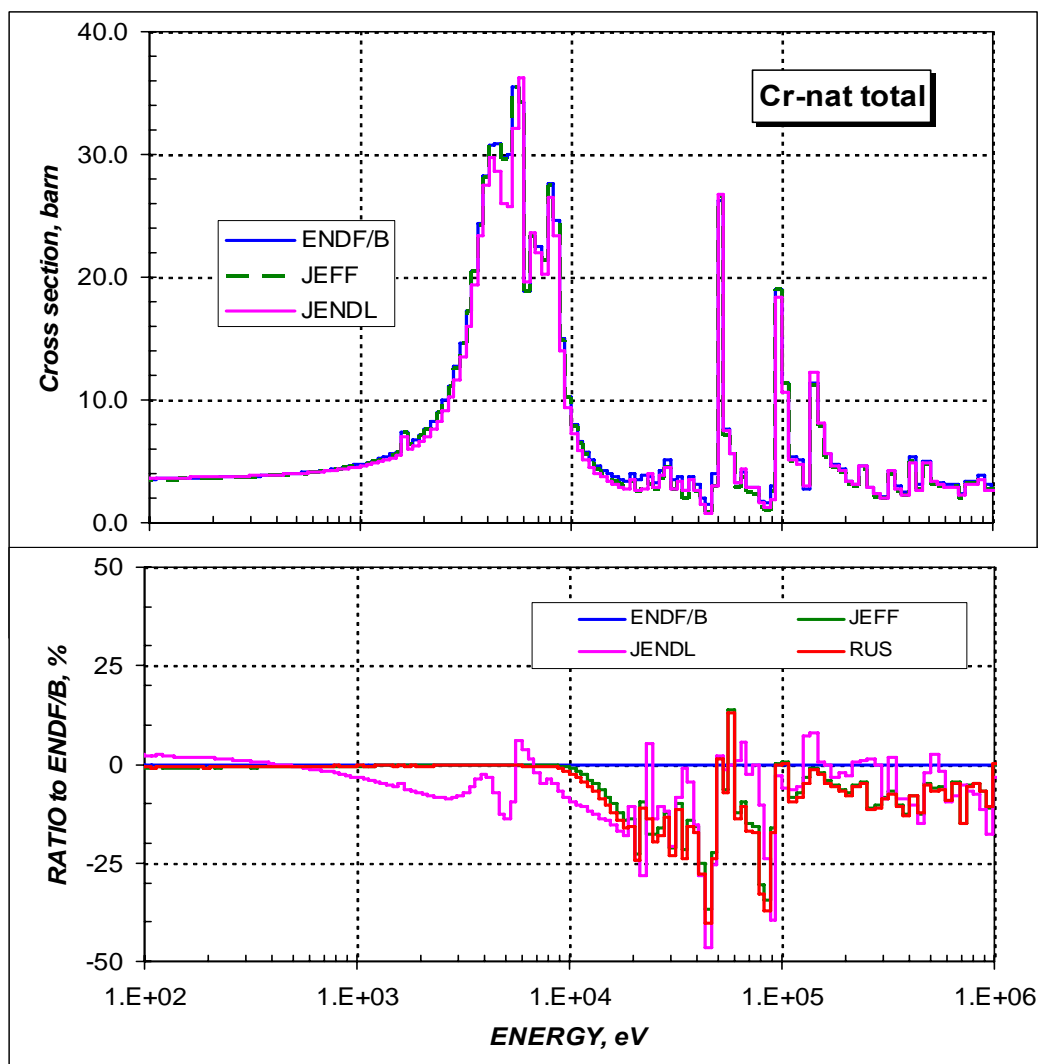


Рисунок 34 – Ход полного сечения Cr-nat в области энергий 100 эВ - 1 МэВ.

На рисунке 35 приводится сравнение полного сечения в области энергий от 5 до 10 МэВ с экспериментальными данными Ларсона (1980) и Абфальтерера(2001). С тем, чтобы оцененные сечения лучше сопоставлялись с экспериментальными данными, на отдельных частях рисунка приводится сравнение не более двух оценок. Оценка JENDL находится на всех частях рисунка, поскольку сечение в ней имеет наиболее высокие значения.

Из приведенного на рисунке 35 сравнения видно, что лишь оценка JENDL хорошо согласуется с экспериментальными данными Ларсона (1980) и Абфальтерера (2001). Поскольку, основной вклад в полное сечение Cr-nat дает изотоп Cr-52, рассмотрим еще раз сравнение оцененных сечений полного взаимодействия для этого изотопа с экспериментальными данными.

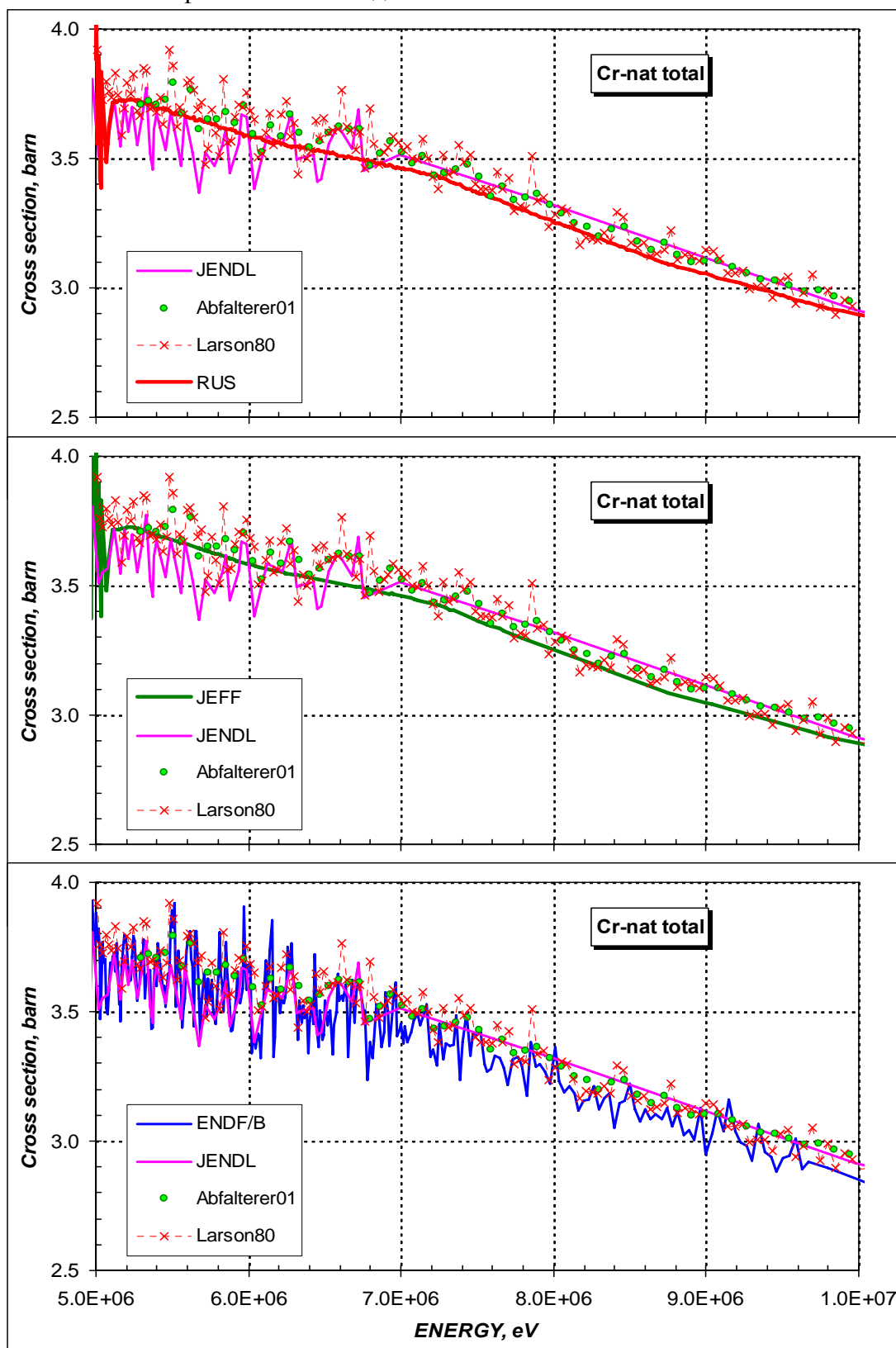


Рисунок 35 – Ход полного сечения Cr-nat в области энергий 5 - 10 МэВ.

На рисунке 36 приводится такое сравнение в области энергий 5-10 МэВ.

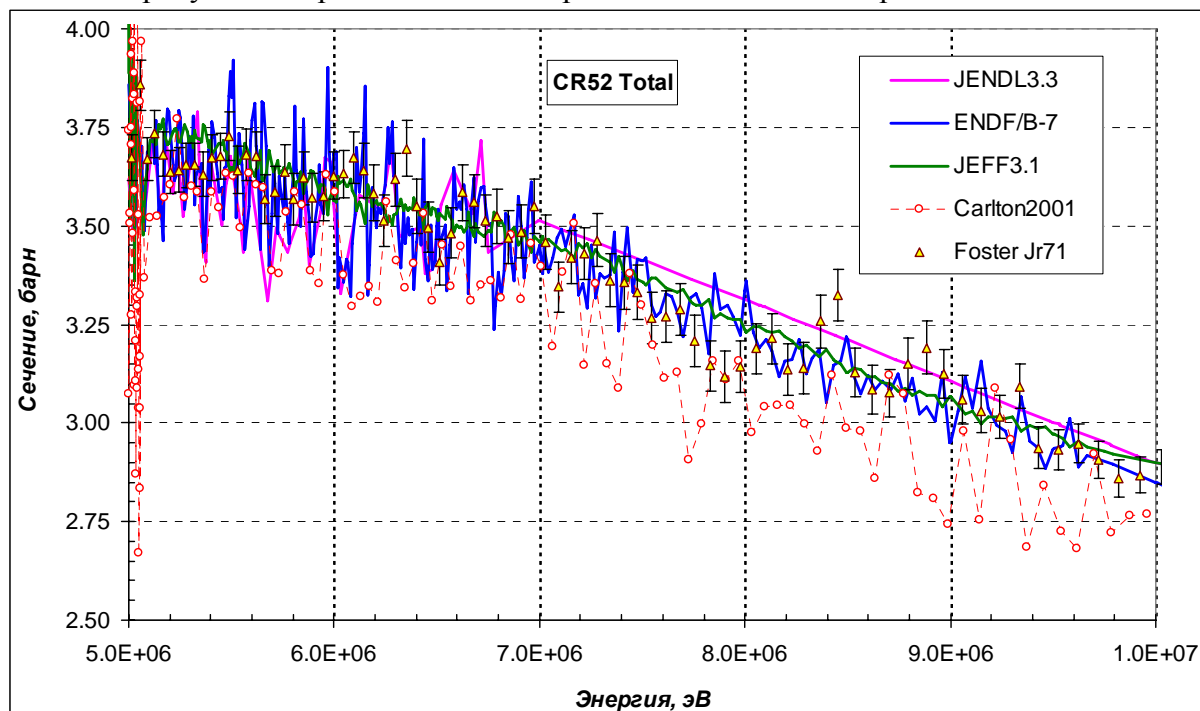


Рисунок 36 – Ход полного сечения Cr-52 в области энергий 5 - 10 МэВ.

Из приведенного на рисунке 36 сравнения видно, что оценка JENDL лежит в отмеченной области энергий выше не только других оценок, но и выше всех экспериментальных данных. Правда, последние экспериментальные данные здесь это - данные Карлтона (2001), которые представляются заниженными. Ранние данные Фостера (1971) подтверждают оценку JEFF-3.1.

ВЫВОДЫ:

Оцененные сечения полного взаимодействия Cr-nat из библиотек ENDF/B, JEFF и RUSFOND наилучшим образом согласуются с экспериментальными данными в области тепловых энергий 0.01 - 10 эВ.

Сечения радиационного захвата нейтронов согласуются с рекомендациями Мухабхаба во всех оценках.

В области энергий 5 - 15 МэВ наилучшим образом с экспериментальными данными по полному сечению для природной смеси согласуется оценка JENDL. Расхождение с JEFF-3.1 достигает 2%. В то же время, для основного изотопа – хрома-52 оценка JEFF-3.1 прекрасно согласуется с совокупностью экспериментальных данных. Скомпенсировать 2-процентное расхождение в полном сечении природного хрома другими изотопами представляется практически невозможным. Таким образом проведенная валидация данных выявила небольшое противоречие между экспериментальными и оцененными данными для основного изотопа и для природной смеси.

Автор рекомендации
Кощев В.Н.