

47.СЕРЕБРО

47.1. Серебро-105

Радиоактивно ($T_{1/2}=49.29$ дн.). Испытывая захват орбитального электрона, превращается в стабильный палладий-105. В реакторах может образовываться в ничтожных количествах за счет реакций $^{106}\text{Ag}(T_{1/2}=8.28 \text{ дн.})(n,2n)$, $^{106}\text{Cd}(n,np)$, $^{106}\text{Cd}(n,d)$.

Полных наборов оцененных нейтронных не имеется. Оценки нейтронных сечений, выполненные путем теоретических расчетов, содержатся в библиотеке EAF-2003. Экспериментальных данных для их валидации нет.

Оцененные тепловое сечение и резонансный интеграл захвата:

$\sigma_c=44.89$ барн; $RI=768.4$ барн.

Заключение

Включить в РОСФОНД файл данных из EAF-2003. Парциальные сечения всех реакций, содержащихся в EAF в файле MF=10, сложить по подсекциям и суммы занести в соответствующие секции файла MF=3. Сформировать файл MF=9 с вероятностями образования долгоживущих изомеров в реакциях MT=22 и MT=107. Файлы MF=8 и 10 опустить.

Файлу присвоить MAT=4705.

Автор заключения

Забродская С.В.

47.2. Серебро-106m

Радиоактивно ($T_{1/2}=8.28$ дн.). Испытывая захват орбитального электрона, превращается в стабильный палладий-106. В реакторах может образовываться в ничтожных количествах за счет реакции $^{107}\text{Ag}(n,2n)$ и неупругого рассеяния на $^{106}\text{Ag}^g$.

Полных наборов оцененных нейтронных не имеется. Оценки нейтронных сечений, выполненные путем теоретических расчетов, содержатся в библиотеке EAF-2003. Экспериментальных данных для их валидации нет.

Оцененные тепловое сечение и резонансный интеграл захвата:

$\sigma_c=57.09$ барн; $RI=1119.52$ барн.

Заключение

Включить в РОСФОНД файл данных из EAF-2003. Парциальные сечения всех реакций, содержащихся в EAF в файле MF=10, сложить по подсекциям и суммы занести в соответствующие секции файла MF=3. Сформировать файл MF=9 с вероятностями образования долгоживущего изомера в реакции MT=107. Секцию MT=4 перенести в файла MF=3 в MF=10; остальные секции в этом файле опустить. Файл MF=8 опустить.

Файлу присвоить MAT=4716.

Автор заключения

Забродская С.В.

47.3. Серебро-107

Содержание в естественной смеси 51.839%.

Имеется три оценки Ag-107:

ENDF/B-VIIb2 – файл получен международной группой WPEC Subgroup 23 в 2004-2005 с участием Мухабхаба,

JEFF-3.1 – файл создан координационной группой в 1982 и прошел ревизию в мае 2005.

JENDL3.3 – оценка LIU T.J., T.NAKAGAWA., K.SHIBATA 1987 года, которая дополнялась в 2002 году.

1. Тепловая и резонансная области

В табл. 1 приводятся тепловые сечения и резонансные интегралы по всем библиотекам.

Табл. 1. Тепловые сечения и резонансные интегралы захвата

	$\sigma(0.0253\text{эВ})$	RI
ENDF/B-VIIb2	37.63	110.19
JEFF-3.1	37.63	106.98
JENDL3.3	38.65	103.28

Граница области разрешенных резонансов в ENDF/B-VIIb2 (204 s-резонансов и 196 p-резонансов) – 6.5 кэВ, в JEFF-3.1 (57 резонансов) – 1 кэВ, в JENDL-3.3 (289 s-резонансов и 166 p-резонансов) – 7 кэВ. Параметры разрешенных резонансов в ENDF/B-VIIb2 приняты Мухабхабом, которые включены в атлас 2006г. В JEFF-3.1 также используются данные Мухабхаба только 1981г., а в JENDL3.3 – данные Y.Nakajima, которые в интервале от 1.25 до 2.6 кэВ дополнены искусственно введенными через каждые 20 (до 1.6 кэВ) или 40 кэВ одинаковыми p-резонансами. Эти искусственные резонансы были введены для получения данных по сечению захвата, согласующиеся с экспериментом Маклина¹. В тексте, сопровождающем файл ENDF/B-VII говорится об оценке Накаямы как об исходной. На основе каких экспериментов была проведена новая оценка резонансных параметров станет, по-видимому, известно после того, как новый атлас Мухабхаба станет доступен.

На рис.1а. сравниваются нарастающие суммы числа s- и p-резонансов в оценках ENDF/B-VII и JEFF-3.1. На рис.1б сравниваются нарастающие суммы всех резонансов вне зависимости от их спина и четности. Видно, что в интервале до 780 эВ число резонансов в ENDF/B-VII заметно выше. Это связано с учетом данных работы Лови и др.², появившейся в 1999 г. и, понятно, не учитывавшейся Накаямой. Далее с ростом энергии нарастающая сумма в JENDL-3.3 нарастает быстрее за счет искусственно введенных резонансов, о которых говорилось выше. Выше 2.6 кэВ, где искусственные резонансы не вводились, кривые нарастающих сумм идут параллельно: наборы резонансов здесь одинаковы, хотя разбивка по спинам и четностям не совпадает.

Отсутствие p-резонансов до 1.25 кэВ в оценке JENDL-3.3 неестественно. Согласно оценке Лови и др. плотность p-резонансов на первых 780 эВ существенно выше, чем плотность s-резонансов и это согласуется с ожидаемым из статистических соображений. При более высоких энергиях плотность p-резонансов в оценке ENDF/B-VII резко снижается, указывая на значительный пропуск. Этот пропуск в оценке ENDF/B-VII ни дополнительно введенными фиктивными резонансами, ни плавной подложкой в файле MF=3. Можно поэтому полагать, что отмеченное выше расхождение в сечении захвата в

¹ Macklin, R.L., Nucl. Sci. Eng., 82, 400(1982).

² Lowie et al. Phys Rev./C, v.59, p.1119, 1999.

этой оценке сохранилось. Неясна также причина, по которой не учитываются резонансы, лежащие в интервале от 6.5 кэВ до 7 кэВ.

Изложенное выше заставляет усомниться в качестве оценки ENDF/B-VII в области энергий выше 780 эВ. В то же время и методика Накаямы, принятая для подгонки под результаты эксперимента Маклина, отнюдь не безупречна: неясно почему решено, что выше 2.6 кэВ пропуск р-резонансов отсутствует; нарастающая сумма числа р-резонансов ведет себя весьма немонотонно. Очевидно, что переоценка сечений в области разрешенных резонансов с привлечением и результатов измерений с низким разрешением и статистических соображений была бы весьма желательна. Поскольку оценка, принятая в ENDF/B-VII ниже 780 эВ представляется безупречной, а выше не испорчена фиктивными резонансами принять ее в качестве исходной для будущей переоценки представляется целесообразным.

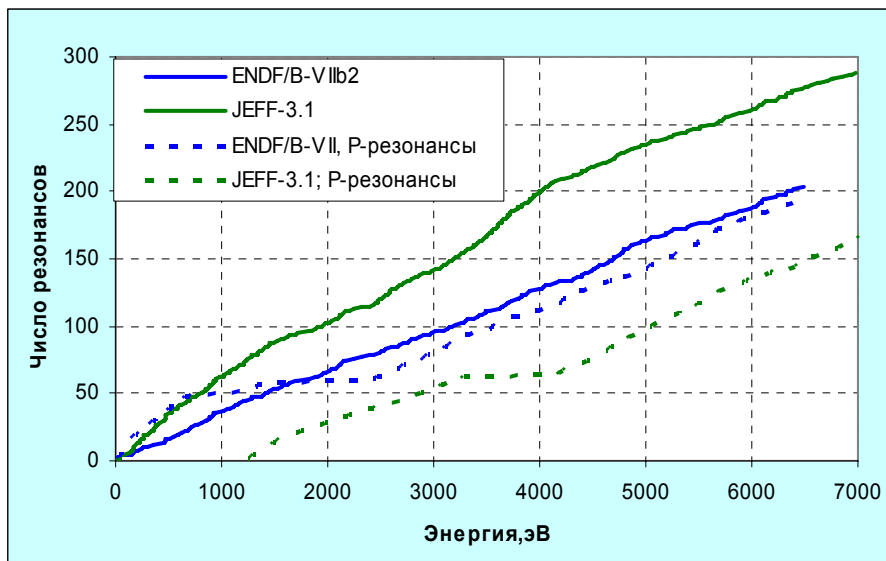


Рис.1а. Нарастающие суммы s- и p-резонансов

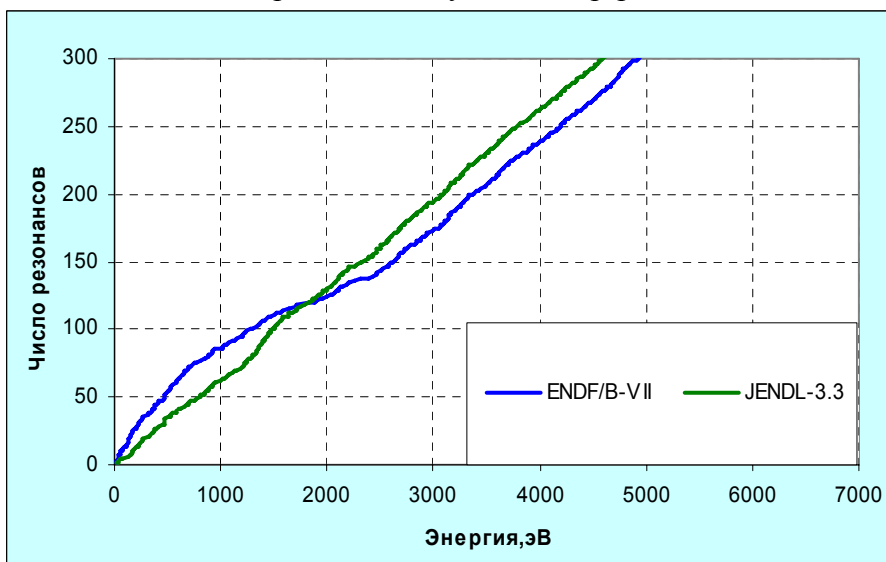


Рис.1б. Нарастающие суммы всех резонансов

На рис.2а показан оцененный ход сечения захвата в тепловой области и экспериментальные данные. Разброс экспериментальных данных, полученных в разные годы, велик. Оценки целиком или в основном опираются на данные Ривса.

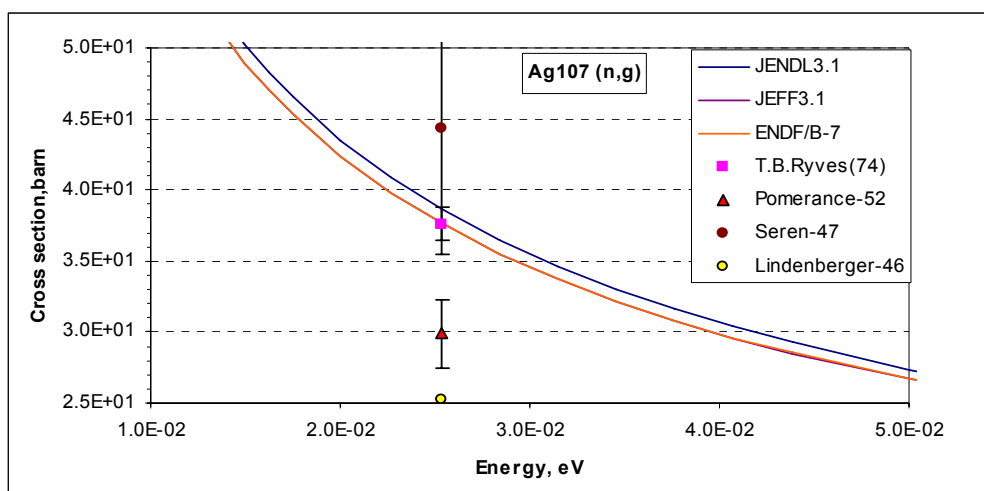


Рис.2а. Сечение захвата в области тепловых энергий

На рис.2б показан ход сечения захвата в низкоэнергетической части области разрешенных резонансов. Ясно видны резонансы, проявившиеся в экспериментах Лови, не учтенные Накаямой.

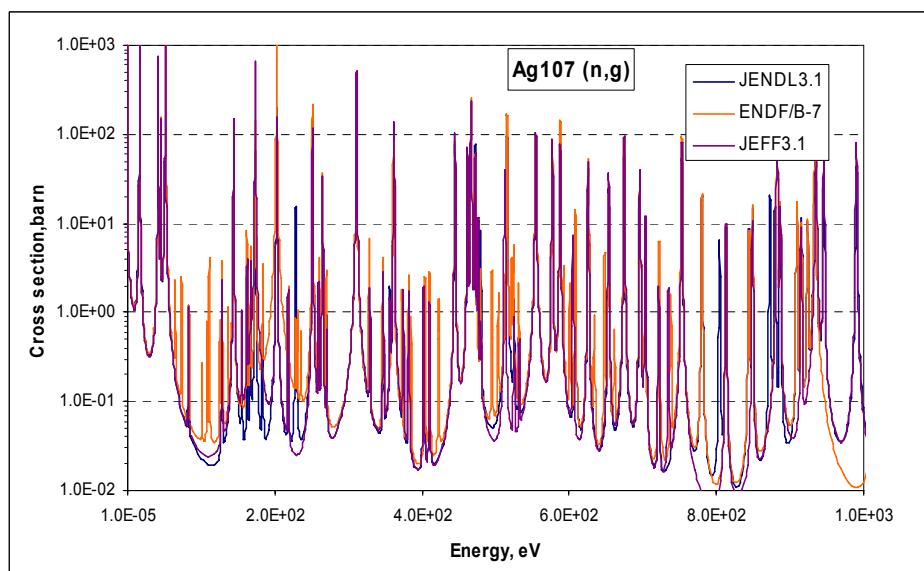


Рис.2б. Сечение захвата в области ниже 1 кэВ.

Рис.2в показывает, что при энергиях от 6.5 кэВ до 7 кэВ, относящейся в оценке ENDF/B-VII уже к области неразрешенных резонансов, сечение захвата согласуется с данными экспериментов, выполненных с низким разрешением. В интервале от 2.6 кэВ до 6.5 кэВ оценки ENDF/B-VII и JENDL-3.3 практически совпадают. Вне резонансной области сечение захвата удовлетворительно согласуется с совокупностью экспериментальных данных.

Экспериментальных данных по полному сечению неупругого рассеяния нет; имеются лишь результаты активационных измерений сечения образования 44-секундного изомера $^{107}\text{Ag}^m$.

Оцененное сечение реакции $(n,2n)$ удовлетворительно согласуется с совокупностью экспериментальных данных по сумме сечений образования ^{106}Ag в основном и изомерном состояниях.

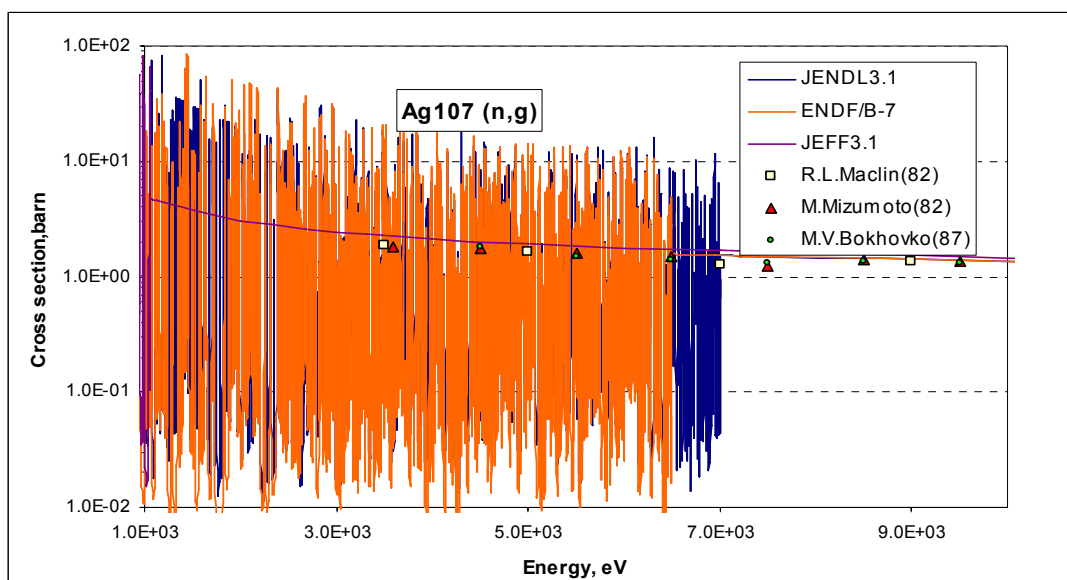


Рис.2в.

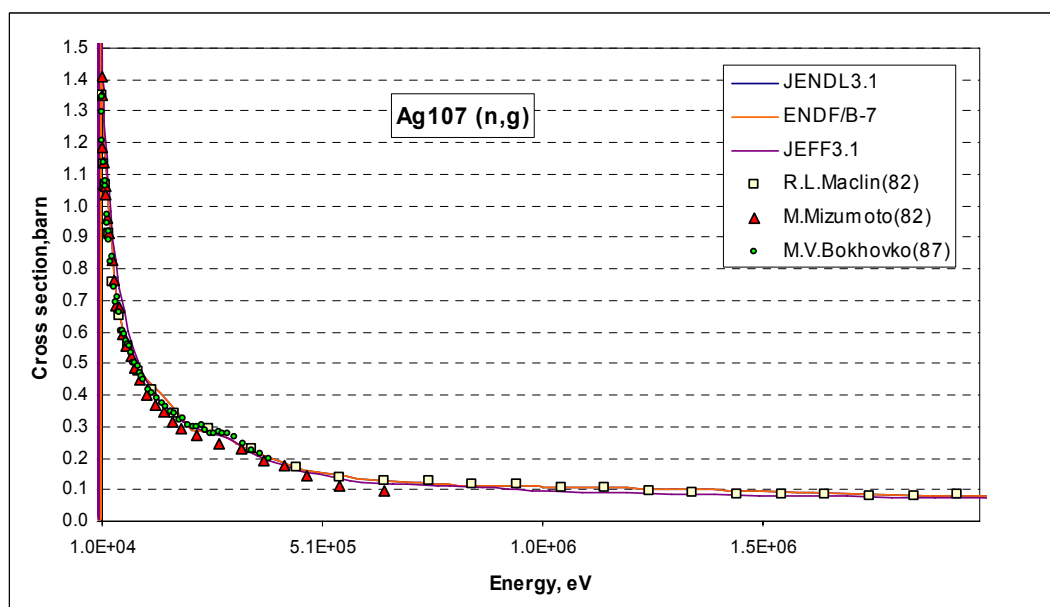


Рис.2г. сечение захвата при высоких энергиях

Заключение

Принять в РОСФОНД оценку ENDF/B-VIIb2. Дополнить оценку файлом MF=9 с MT=102 и MT=16 с вероятностями образования долгоживущих изомеров $^{108}\text{Ag}^m$ и $^{106}\text{Ag}^m$, используя данные EAF-2003. Целесообразна переоценка данных в области разрешенных резонансов выше 780 эВ с целью учета пропуска большей части р-резонансов.

Авторы заключения

Николаев М.Н., Забродская С.В.

47.4. Серебро-108m

Радиоактивно ($T_{1/2}=418$ лет). Испытывая захват орбитального электрона, превращается в стабильный палладий-108. В реакторах может образовываться за счет реакций $^{107}\text{Ag}(n,\gamma)$ и $^{109}\text{Ag}(n,2n)$.

Полных наборов оцененных нейтронных не имеется. Оценки нейтронных сечений, выполненные путем теоретических расчетов, содержатся в библиотеке EAF-2003. Экспериментальных данных для их валидации нет.

Оцененные тепловое сечение и резонансный интеграл захвата:

$\sigma_c=50.75$ барн; $RI=1157.71$ барн.

Заключение

Включить в РОСФОНД файл данных из EAF-2003.. Парциальные сечения всех реакций, содержащихся в EAF в файле MF=10, сложить по подсекциям и суммы занести в соответствующие секции файла MF=3. Сформировать файл MF=9 с вероятностями образования долгоживущего изомера в реакции MT=17. Секцию MT=4 перенести в файла MF=3 в MF=10; остальные секции в этом файле опустить. Файл MF=8 опустить.

Файлу присвоить MAT=4718.

Автор заключения

Забродская С.В.

47.5. Серебро-109

Содержание в естественной смеси 48.161%. Выход при делении урана-235 тепловыми нейтронами $-4.57 \cdot 10^{-4}$.

Имеется три оценки данных для Ag107:

ENDF/B-VIIb2 – оценка сделана Kim, Herman, Oblozinsky, Oh, S.F. Mughabghab в 2005г, также как и для Ag107, в рамках международной рабочей группы WPEC (Subgroup 23).

JEFF-3.1 – оценка H.GRUPPELAAR, E.MENAPACE 1983г, дополненная 2005 году.

JENDL3.3 – оценка LIU T.J., T.NAKAGAWA., K.SHIBATA 1987 года, которая корректировалась в 2002 году.

2. Тепловая и резонансная области

В табл. 1 приводятся тепловые сечения и резонансные интегралы по всем библиотекам. Они практически совпадают как друг с другом, так и с рекомендацией Мухабхаба-2003 ($\sigma(0.0253\text{эВ})=91 \pm 1$ барн; $RI=1400 \pm 48$ барн).

Табл. 1. Тепловые сечения и резонансные интегралы захвата

	$\sigma(0.0253\text{эВ})$	RI
ENDF/B-VIIb2	90.92	1478.20
JEFF-3.1	90.79	1475.25
JENDL3.3	90.62	1472.82

Граница области разрешенных резонансов в ENDF/B-VIIb2(236 s-резонансов и 71 p-резонанс с максимальными энергиями 4996 эВ и 4974 эВ) – 4.9 кэВ, в JEFF-3.1(57

s-резонансов с максимальной энергией 976 эВ) – 0.98 кэВ, в JENDL3.3 (289 s-резонансов и 185 z-резонансов с максимальными энергиями 7105 эВ и 7086 эВ) – 7 кэВ. Параметры разрешенных резонансов в ENDF/B-VIIb2, согласно примечаниям к файлу, ниже 2.5 кэВ основаны на компиляции Мухабхаба 1981. Фактически, видимо использованы также результаты работ Lowie-99 и Zanini-97. В JEFF-3.1 также используются данные Мухабхаба 1981г., а в JENDL3.3 – оценка Y.Nakajima тех работ, которые были выполнены до 1983 г. и, согласно комментарию, учтены и в оценке ENDF/B-VII.

На рис.1. показаны нарастающие суммы числа s- и p-резонансов в оценках ENDF/B-VIIb2 и JENDL-3.3. Ситуация в точности такая же, как и в случае ^{107}Ag : в японской оценке введено немало фиктивных p-резонансов в интервале от 1.25кэВ до 2.6 кэВ для учета пропуска слабых уровней. В области ниже 1.25 кэВ в этой оценке p-резонансы вообще не выделены. В оценке ENDF/B-VII на основе работы Лови.

На рис. 1б. сравниваются нарастающие суммы всех резонансов. Видно, что в оценке ENDF/B-VII в нижней части области разрешенных резонансов описано большее их число (видимо, на основании работы Лови), тогда резонансы с энергиями выше 5000 эВ вообще не описываются.

Как и в случае ^{107}Ag , любая оценка в области разрешенных резонансов требует пересмотра и учета пропуска части уровней либо путем введения фиктивных резонансов, либо путем введения плавной подложки в файл MF=3 (что хуже, поскольку исключает возможность учета эффекта самоэкранировки пропущенных резонансов). В РОСФОНД целесообразно принять оценку из ENDF/B-VII в качестве стартовой для последующей доработки.

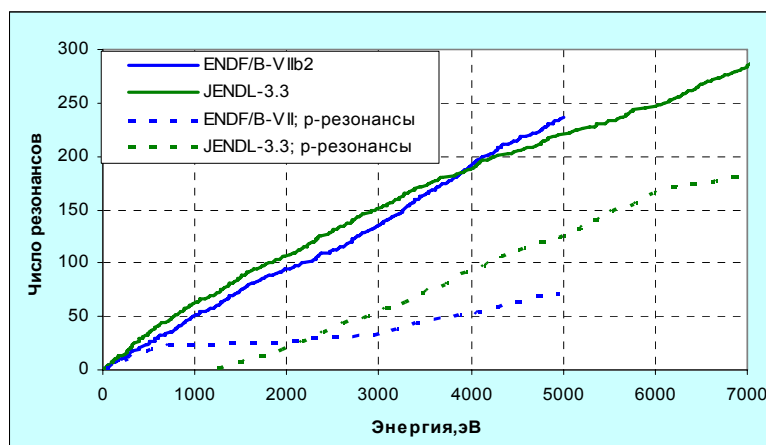


Рис.1а. нарастающие суммы числа s- и p-резонансов.

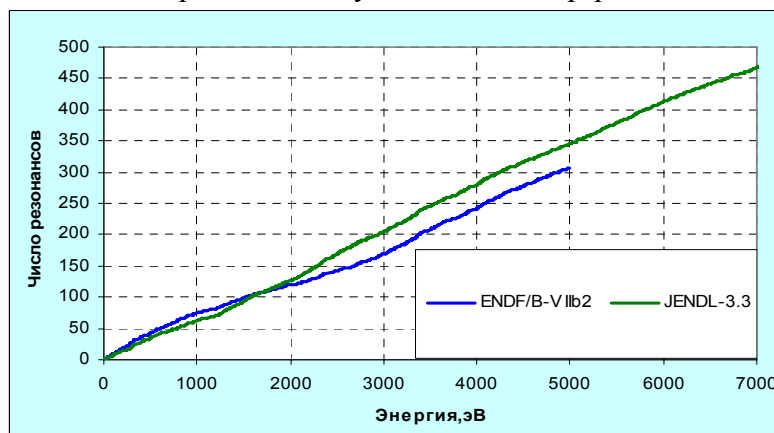


Рис.1б. Нарастающие суммы всех резонансов

На рис. 2 и 3 оцененные полное сечение и сечение захвата в нижеэнергетической части области разрешенных резонансов сравниваются с имеющимися экспериментальными данными. В сечении захвата в оценке ENDF/B-VIIb2 ясно видны

дополнительные слабые резонансы, не проявившиеся в эксперименте Чрина и почти не заметные в полном сечении.

На рис.4 показано сечение захвата в области, охватывающей и разрешенные резонансы и область неразрешенных резонансов. В последней имеет место приемлемое согласие с результатами экспериментов, выполненных с низким разрешением.

На рис. 5 и 6 оценки сечения захвата вне резонансной области сравнены с экспериментальными данными. Преимущество оценки ENDF/B-VII очевидно.

Заключение

Принять в РОСФОНД оценку ENDF/B-VIIb2. Дополнить оценку файлом MF=9 с MT=102 и MT=16 с вероятностями образования долгоживущих изомеров $^{110}\text{Ag}^m$ и $^{108}\text{Ag}^m$, используя данные EAF-2003. Целесообразна переоценка данных в области разрешенных резонансов выше 780 эВ с целью учета пропуска большей части р-резонансов.

Авторы заключения

Николаев М.Н., Забродская С.В.

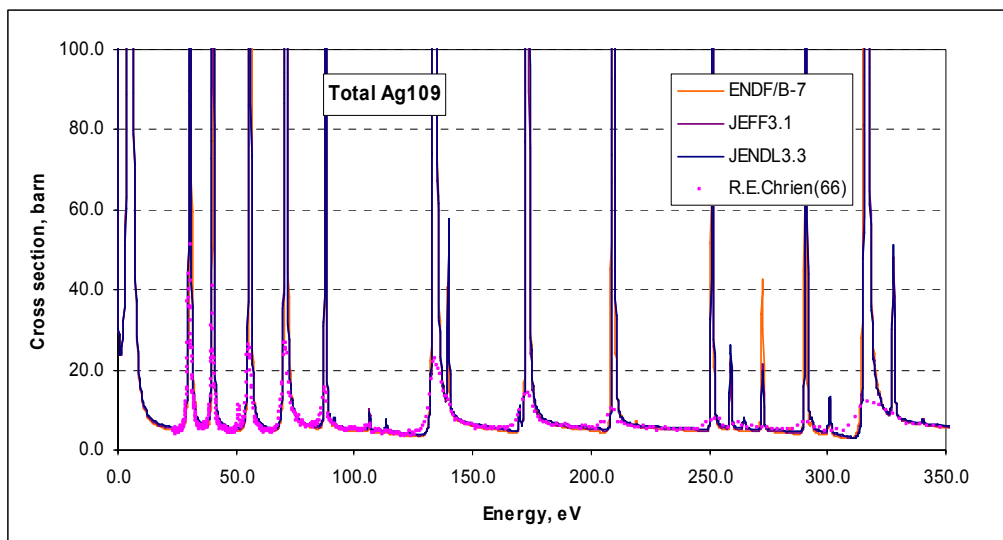


Рис.2. Полное сечение ниже 350 эВ

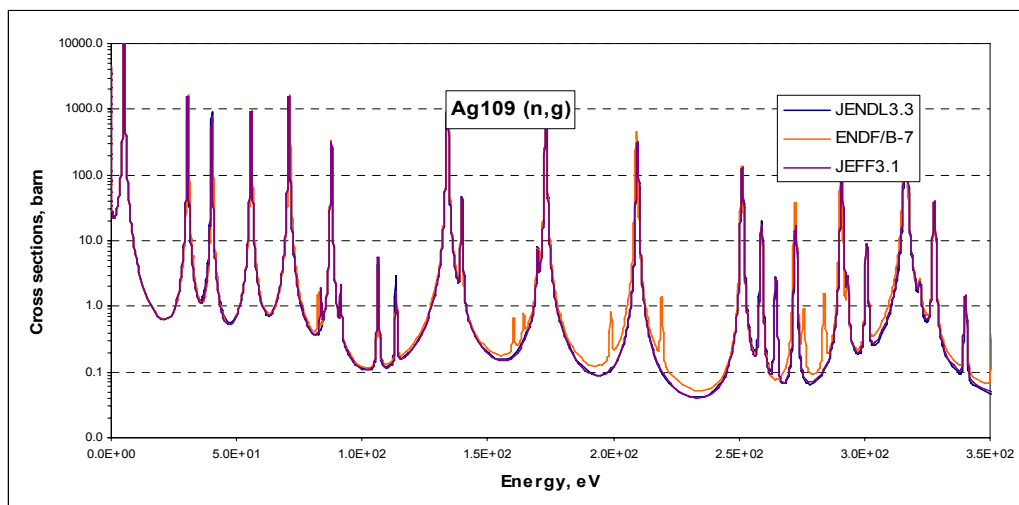


Рис.3. Сечение захвата ниже 350 эВ.

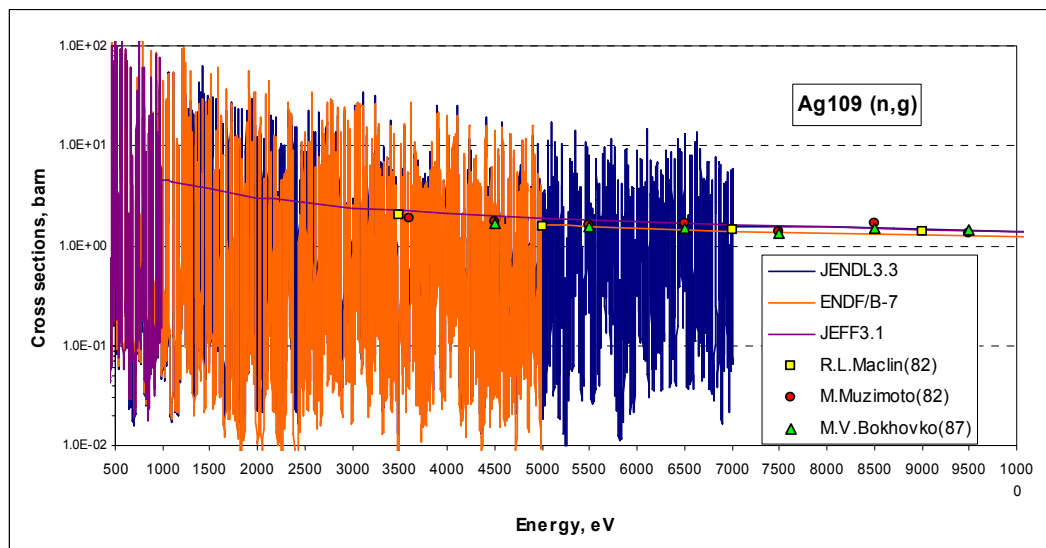


Рис.4 Сечение захвата

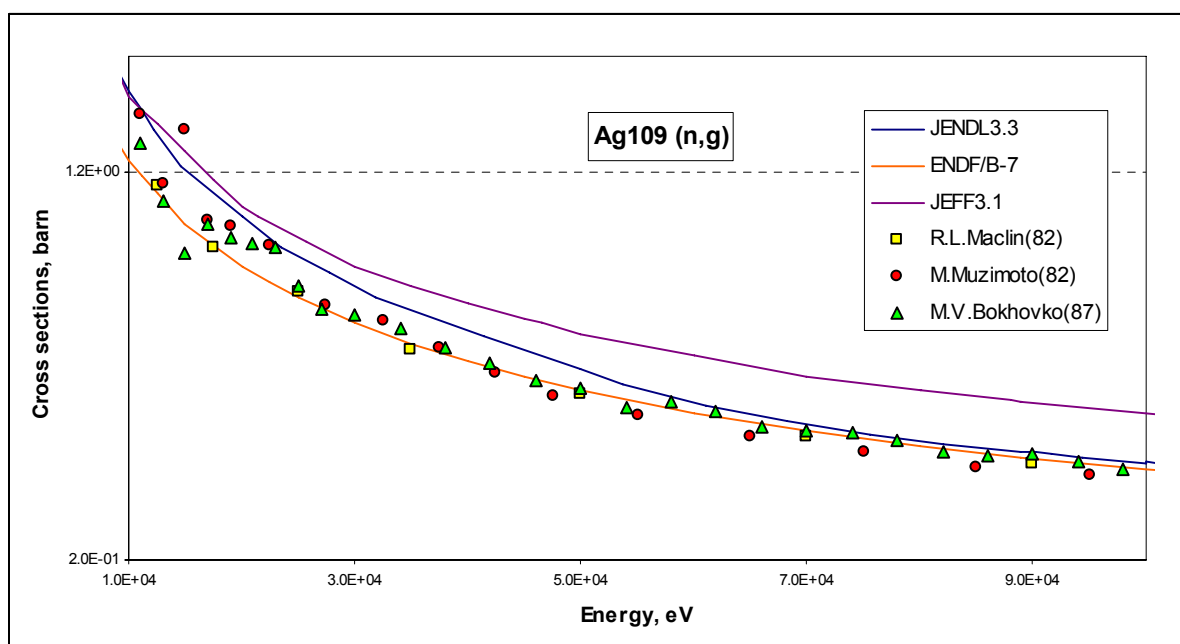


Рис5. Сечение захвата

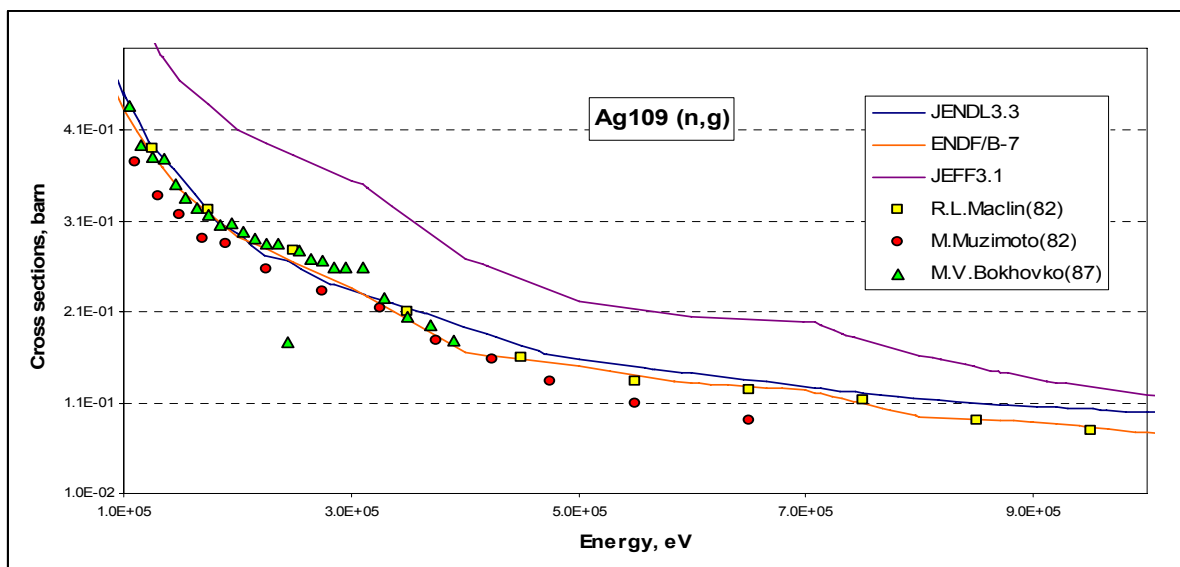


Рис.7. Сечение захвата

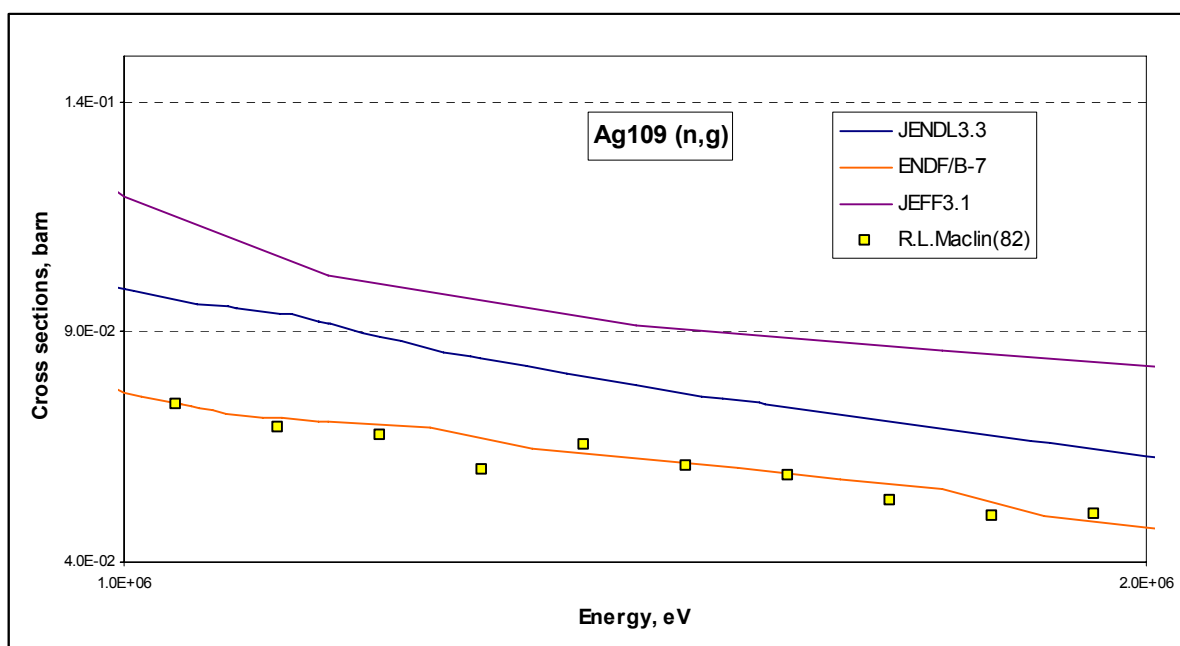


Рис.8. Сечение захвата

47.6. Серебро-110m

Радиоактивно ($T_{1/2}=249.79$ дн). Испытывая β^- -распад с вероятностью 98.6%, превращается в стабильный кадмий-110, остальное – это изомерный переход в основное состояние. В реакторах может образовываться за счет реакций $^{109}\text{Ag}(n,\gamma)$. Как продукт деления практически не образуется.

Имеется несколько наборов оцененных нейтронных для $^{110}\text{Ag}^m$. ENDF/B-VIIb2 – оценка сделана в рамках международной группой WPEC Subgroup 23 при участии Мухабхаба в 2005 г. Более детально оценка описана в пока недоступном атласе резонансных параметров Мухабхаба, вышедшем в 2003 г.

JENDL3.3 – оценка сделана рабочей группой по продуктам деления в 1990 году и дополнена в 2002.

EAF-2003 – оценка 2003 Forrest, Kopecky, Sublet, Koning.

В табл. 1 приводятся тепловые сечения и резонансные интегралы по всем библиотекам.

Табл. 1. Тепловые сечения и резонансные интегралы захвата

	$\sigma(0.0253\text{эВ})$	RI
ENDF/B-VIIb2	82.36	89.79
JENDL3.3	82.04	90.75
EAF3.0/A	165.0	2480.45
EXFOR(R.G.Hart-63)	82.00	

Неприемлемость оценки EAF-2003 очевидна. На рис. 1 сравниваются оцененные сечения захвата. Преимущество ENDF/B-VIIb2 состоит, главным образом, в том, что эта оценка, выполненная позднее, вероятно. Более полно учитывает имеющуюся экспериментальную информацию.

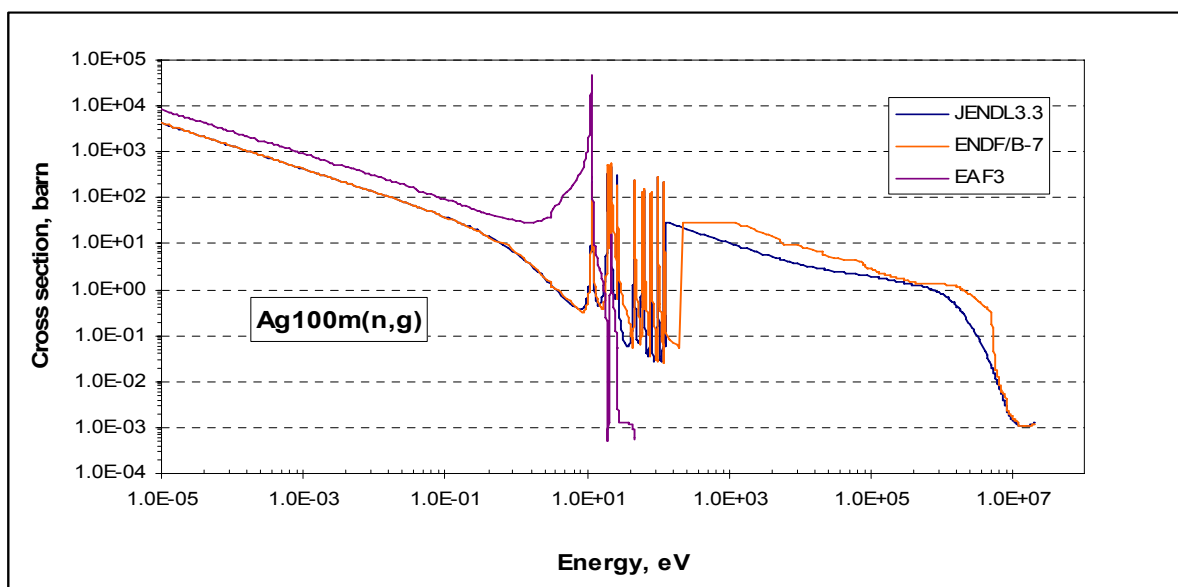


Рис.1. Сечение захвата

Заключение

Принять в РОСФОНД оценку ENDF/B-VIIb2. Дополнить оценку файлом MF=9 с MT=17 с вероятностью образования долгоживущего изомера $^{108}\text{Ag}^m$, и файл MF=10 с сечением перехода в основное состояние используя данные EAF-2003.

Файлу присвоить MAT=4730.

Автор заключения

Забродская С.В.

47.7. Серебро-111

Радиоактивен ($T_{1/2}=7.45$ дн). Испытывая β^- -распад, превращается в стабильный кадмий-111. В реакторах может образовываться за счет реакций $^{110}\text{Ag}(n,\gamma)$ и как продукт деления (выход при делении урана-235 тепловыми нейтронами – $3.27 \cdot 10^{-4}$).

Имеется несколько наборов оцененных нейтронных Ag111:

ENDF/B-VIIb2 – оценка сделана Herman, Oblozinsky, Sayer в рамках международной группой WPEC Subgroup 23 при участии Мухабхаба в 2005г.

JEFF3.1 – оценка сделана рабочей группой в 1982 году и дополнена в 2005.

EAF3.0 – оценка 2003 Forrest, Kopecky, Sublet, Koning.

В табл. 1 приводятся тепловые сечения и резонансные интегралы по всем библиотекам и результат единственного измерения, с которым все оценки, естественно, совпадают.

Табл. 1. Тепловые сечения и резонансные интегралы захвата

	$\sigma(0.0253\text{эВ})$	RI
ENDF/B-VIIb2	2.99	115.89
JEFF3.1	3.00	103.97
EAF3.0/A	3.00	103.89
Drushel-66	3.2 ± 2	

Заключение

Принять в РОСФОНД оценку из ENDF/B-VII, как самую последнюю. Дополнить ее файлом MF=9 с MT=16 с вероятностью образования долгоживущего изомера $^{110}\text{Ag}^m$, используя данные EAF-2003.

Авторы рекомендации

Забродская С.В., Николаев М.Н.