

46.ПАЛЛАДИЙ

46.1. Палладий-100

Радиоактивен ($T_{1/2}=3.7$ дн.). Захватывая орбитальный электрон, превращается в родий-100, а тот тем же путем – в рутений-100.

Полных наборов нейтронных данных не имеется. В библиотеке активационных данных EAF-2003 содержится последняя по времени оценка нейтронных сечений. Экспериментальных данных для ее проверки нет. Из оценки следуют следующие значения сечения захвата тепловых нейтронов и резонансного интеграла:

$$\sigma_c(0.0253 \text{ eV})=15.5 \text{ барн}$$

$$RI_c=16.6 \text{ барна.}$$

На рисунке 1 показана оцененная энергетическая зависимость сечения захвата.

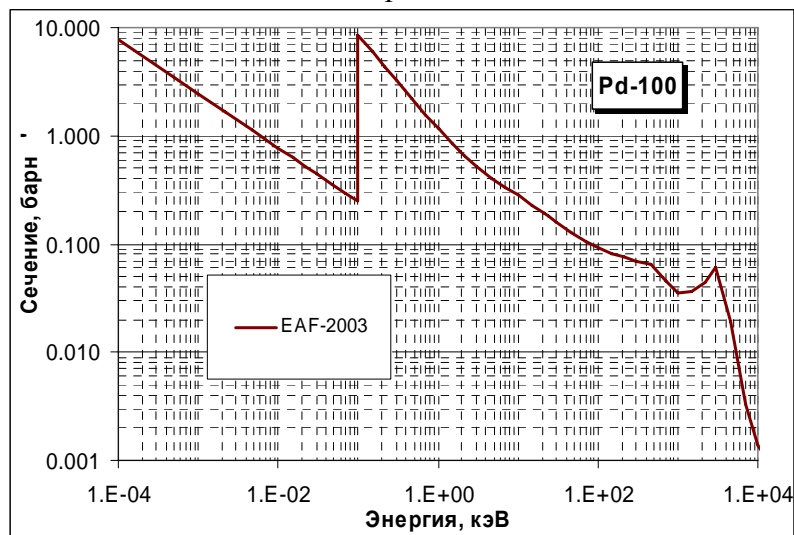


Рисунок 1. Сечение радиационного захвата Pd-100.

Заключение

Включить в РОСФОНД файл данных из EAF-2003. Парциальные сечения реакций, содержащиеся в файле MF=10, сложить по подсекциям и суммы записать в соответствующие секции файла MF=3. Файлы MF=8, 9 и MF=10 удалить, поскольку в реакциях не образуется долгоживущих изомеров. Файлу присвоить МАТ=4666.

Автор рекомендации

Николаев М.Н.

46.2. Палладий-102

Содержание в естественной смеси -1.02%

Имеется три полных набора оцененных нейтронных данных:

ENDF/B-VIIb2 оценка Янга и Мухабхаба (Yang, Muqhabghab) 2005 г.содержащая резонансные параметры из нового атласа Мухабхаба 2006г. и теоретическую оценку Янга 1996 г.;

JENDL-3.3 - оценка японской рабочей группой по продуктам деления, 1990 г. Резонансные параметры взяты из атласа Мухабхаба 1981г.

JEFF-3.1 - оценка Группелаара и Менапаса (H Gruppelaar, E.Menapace), 1982 г.;

Кроме того, в EAF-2003 содержится оценка нейтронных сечений.

В ENDF/B-VII область разрешенных резонансов простирается до 820 эВ и содержит параметры 3 резонансов и связанное состояние; в остальных оценках – только один резонанс и связанное состояние; RRR ограничена 250 эВ.

В оценке JENDL-3.3 включена и область неразрешенных резонансов.

В таблице 1 приводятся сравнение значений оцененных сечений захвата тепловых нейтронов и резонансного интеграла с оценкой Мухабхаба 1981 г, подтвержденной в 2004 г., но, изменившейся в 2006 г. по в связи с появлением новой экспериментальной информации:

Таблица 1. Тепловое сечение захвата и резонансный интеграл Pd-102.

	$\sigma_c(0.0253 \text{ eV})$	RI_c
ENDF/B-VII-b2	1.82 барна	16.5 барна
JENDL-3.3	3.36 барна	19.0 барна
JEFF-3.1	3.36 барна	12.95 барн
EAF-2003	3.36 барна	12.5 барна
Мухабхаб-02	3.4 ± 0.3 барна	10 ± 2 барна
Мухабхаб-05	1.82 ± 0.20 барна	12 ± 2 барна

На рисунке 2 сравниваются оцененные энергетические поведения сечения захвата. Экспериментальных данных (кроме эксперимента Мейнке) для их проверки на момент выполнения настоящей работы в нашем распоряжении не имелось¹.

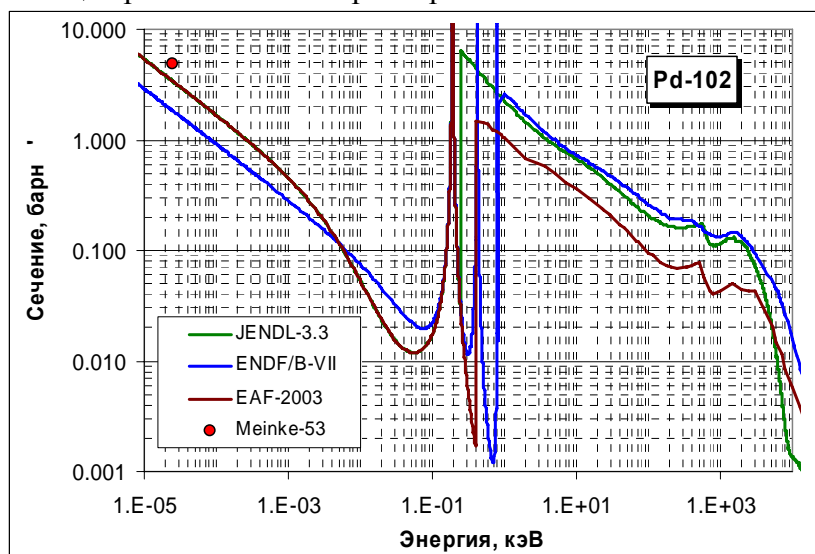


Рисунок 2. Сечение радиационного захвата Pd-102.

Заключение

На основе анализа наиболее важной величины – сечения радиационного захвата нейтронов – рекомендуется включить в РОСФОНД файл данных из ENDF/B-VII. Дополнить оценку файлом MF=9 с вероятностями образования изомеров Rh-101m и Rh-102m

Автор рекомендации

Николаев М.Н.

¹ См., однако, Phys. Rev./C 48 p.22, 2005.

46.3. Палладий-103

Радиоактивен ($T_{1/2}=16.96$ дн.). Захватывая орбитальный электрон, превращается в родий-103.

Полных наборов нейтронных данных не имеется. В EAF-2003 содержится последняя по времени оценка нейтронных сечений. Экспериментальных данных для ее проверки нет. Из оценки следуют следующие значения сечения захвата тепловых нейтронов и резонансного интеграла:

$$\sigma_c(0.0253 \text{ eV})=36 \text{ барн}$$

$$RI_c=305 \text{ барн.}$$

На рисунке 3 показана оцененная энергетическая зависимость сечения захвата.

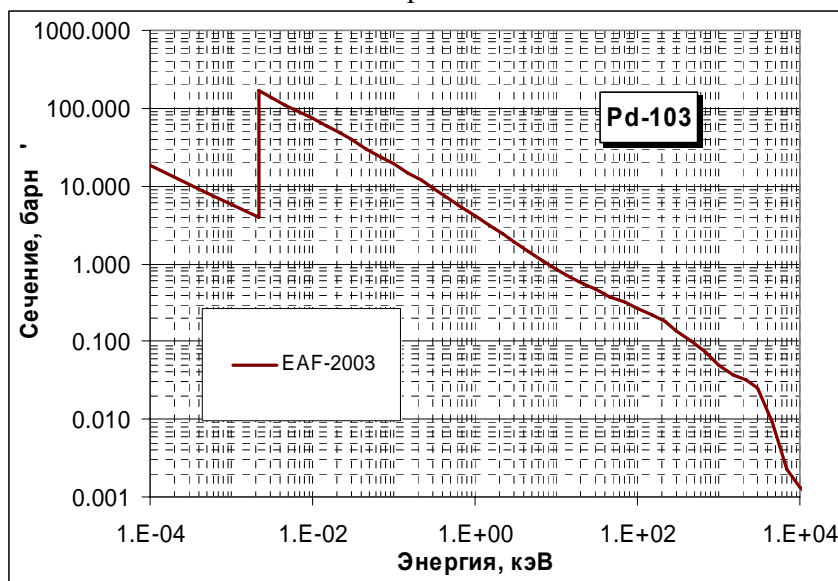


Рисунок 3. Сечение радиационного захвата Pd-103.

Заключение

Включить в РОСФОНД файл данных из EAF-2003. Парциальные сечения реакций, содержащиеся в файле MF=10, сложить по подсекциям и суммы записать в соответствующие секции файла MF=3. Файлы MF=8 и MF=10 удалить.

Автор рекомендации

Николаев М.Н.

46.4. Палладий-104

Содержание в естественной смеси -11.14%. Продукт деления. Выход при делении урана-235 тепловыми нейтронами – $1.98 \cdot 10^{-9}$.

Имеется три полных набора оцененных нейтронных данных:

ENDF/B-VIIb2 оценка Янга и Мухабхаба (Yang, Myghabghab) 2005 г., содержащая резонансные параметры из нового атласа Мухабхаба 2006г. (ниже 7.5 кэВ) и теоретическую оценку Янга 1996 г. (ENDF/B-VI) выше этой энергии. Области неразрешенных резонансов нет.

JENDL-3.3 - оценка японской рабочей группой по продуктам деления, 1990 г. Резонансная область (до 279 эВ) содержит единственный резонанс с параметрами из работы Попова и др. в атласе Мухабхаба 1981г. этот резонанс присутствует, но между ним

и 2.72 эВ резонансные параметры были не определены и потому в оценке JENDL-3.3 они учтены лишь приближенно – в области неразрешенных резонансов.

JEFF-3.1 - оценка Группелаара и Менапаса (H Gruppelaar, E. Menapase, 1982 г.), имеющая область 320 эВ без пропуска, а далее следует область неразрешенных резонансов.

Кроме того, в библиотеке активационных данных EAF-2003 содержится оценка нейтронных сечений.

В таблице 2 приводятся сравнение значений оцененных сечений захвата тепловых нейтронов и резонансного интеграла с единственным имеющимся в EXFORe экспериментальным результатом и оценкой Мухабхаба 2002 г. Экспериментальных данных для их проверки в EXFORe нет.

Таблица 2. Резонансные свойства Pd-104.

	$\sigma_c(0.0253 \text{ eV})$	RI_c
ENDF/B-VII-b2	0.65 барна	20.8 барна
JENDL-3.3	0.52 барна	21.5 барна
JEFF-3.1	0.315 барна	1.38 барн
Мухабхаб-02	0.6 ± 0.3 барна	16 ± 2 барна

Как видно из таблицы 2, оценке резонансного интеграла Мухабхабом наилучшим образом соответствует оценка ENDF/B.

На рисунке 4 и 5 сравниваются оцененные энергетические поведения сечения захвата.

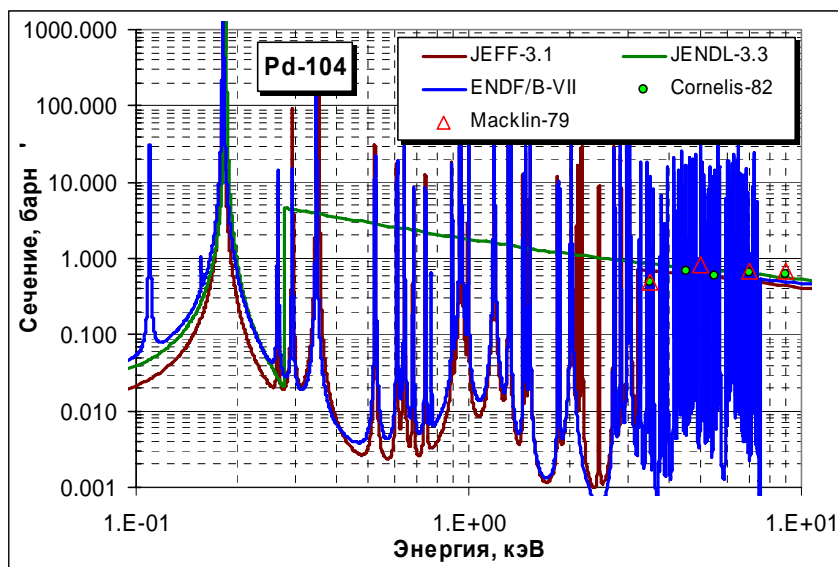


Рисунок 4. Сечение захвата Pd-104 в резонансной области

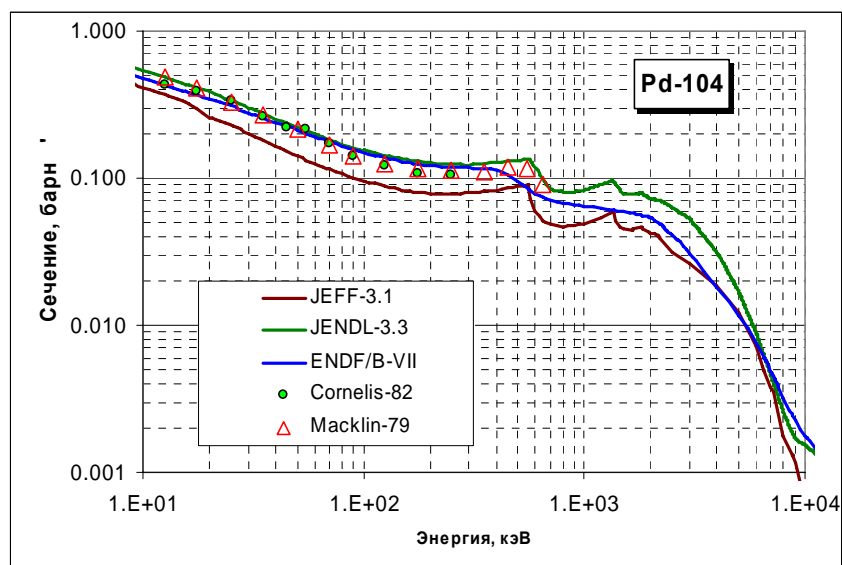


Рисунок 5. Сечение захвата Pd-104 вне резонансной области.

Из приведенного на рисунках 4 и 5 сравнения очевидны преимущества оценки, принятой в ENDF/B-VII.

Заключение

На основе анализа наиболее важной величины – сечения радиационного захвата нейтронов – рекомендуется включить в РОСФОНД файл данных из ENDF/B-VIIb2.

Автор рекомендации

Николаев М.Н.

46.5. Палладий-105

Содержание в естественной смеси -22.33% Продукт деления, входит в десятку наиболее важных продуктов деления. Его выход при делении урана-235 тепловыми нейтронами – $1.73 \cdot 10^{-2}$.

Имеется три полных набора оцененных нейтронных данных:

ENDF/B-VIIb2 оценка Кима, Хермана, Обложинского, Оха и Мухабхаба (Kim, Herman, Oblozinsky, Oh, Mughabg) 2005 г.

JENDL-3.3 - оценка японской рабочей группой по продуктам деления, 1990 г.

JEFF-3.1 - оценка Группелаара и Менапаса (H Gruppelaar, E. Menapace, 1982г.).

Область разрешенных резонансов во всех оценках совпадает – она простирается до 2053.3 – 2060.0 эВ и содержит 198 резонансов с положительными энергиями и 1 (JEFF-3.1) или 2 связанных состояния. Различие состоит в определении спинов и четности резонансов и параметров низколежащих резонансов, определяющих тепловые сечения.

В таблице 3 приводятся сравнение значений оцененных сечений захвата тепловых нейтронов и резонансного интеграла с единственным имеющимся в EXFORe экспериментальным результатом и оценкой Мухабхаба 2002 г. Экспериментальных данных для их проверки в EXFORe нет.

Таблица 3. Резонансные свойства Pd-105.

	$\sigma_c(0.0253 \text{ eV})$	RI_c
ENDF/B-VII-b2	20.9 барна	95.3 барна
JENDL-3.3	20.2 барна	96.6 барна
JEFF-3.1	20.9 барна	95.3 барн
Мухабхаб-02	21 ± 1.5 барна	98 ± 5 барна

На рисунке 6 сравниваются оцененные энергетические поведения сечения захвата вне резонансной области. Как видно, там, где имеются экспериментальные данные, оценки совпадают с ними и друг с другом.

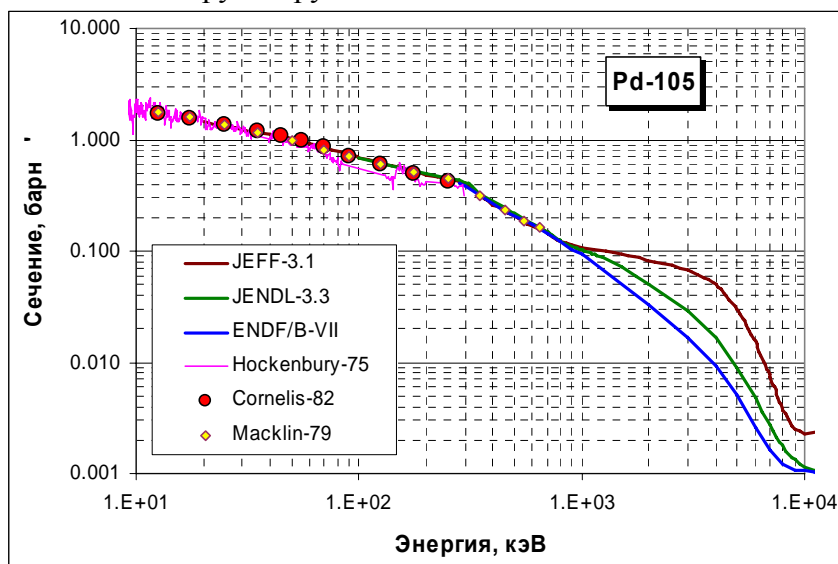


Рисунок 6. Сечение радиационного захвата Pd-105 вне резонансной области.

Заключение

На основе анализа наиболее важной величины – сечения радиационного захвата нейтронов – рекомендуется включить в РОСФОНД оценку нейтронных данных из ENDF/B-VIIb2, в которой учитываются новейшие экспериментальные данные.

Автор рекомендации

Николаев М.Н.

46.6. Палладий-106

Содержание в естественной смеси -27.33%. Продукт деления, входит в пятьдесят наиболее важных продуктов деления. Выход при делении урана-235 тепловыми нейтронами – $2.15 \cdot 10^{-2}$.

Имеется три полных набора оцененных нейтронных данных:

ENDF/B-VIIb2 оценка Янга и Мухабхаба (Yang, Muqhabghab) 2005 г., содержащая резонансные параметры из нового атласа Мухабхаба 2006г. (ниже 6 кэВ) и теоретическую оценку Янга 1996 г. (ENDF/B-VI) выше этой энергии; Области неразрешенных резонансов нет.

JENDL-3.3 - оценка японской рабочей группой по продуктам деления, 1990 г.

JEFF-3.1 - оценка Группелаара и Менапаса (H Gruppelaar, E. Menapace, 1982 г.).

В таблице 4 приводятся сравнение значений оцененных сечений захвата тепловых нейтронов и резонансного интеграла с единственным имеющимся в EXFORe экспериментальным результатом и оценкой Мухабхаба 2002 г. Экспериментальных данных для их проверки в EXFORe нет.

Таблица 4. Резонансные свойства Pd-106.

	$\sigma_c(0.0253 \text{ eV})$	RI_c
ENDF/B-VII-b2	0.308 барна	7.45 барна
JENDL-3.3	0.303 барна	8.96 барна
JEFF-3.1	0.300 барна	5.93 барн
Мухабхаб-02	0.315 ± 0.029 барна	5.7 ± 0.6 барна

Из приведенного в таблице 4 сравнения видно, что ни одна из оценок не согласуется полностью с рекомендациями Мухабхаба.

На рисунке 7 сравниваются оцененные энергетические поведения сечения радиационного захвата в области разрешенных резонансов.

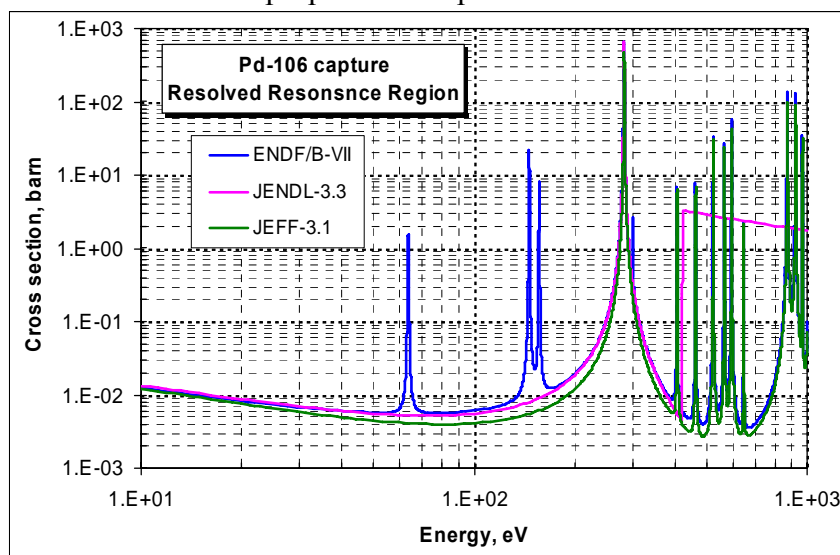


Рисунок 7. Сечение радиационного захвата Pd-106 в резонансной области

Из приведенного на рисунке 7 сравнения оцененных сечений видно, что в ENDF/B-VII появились дополнительные резонансные уровни.

Границы областей резонансного взаимодействия для Pd-106 показаны ниже в таблице 5.

Таблица 5. Границы резонансных областей Pd-106.

Оценка	верхняя энергия разрешенных рез-сов	верхняя энергия неразрешенных рез-сов
ENDF/B-VII	6.0 кэВ	отсутствует
JENDL-3.3	0.423 кэВ	100 кэВ
JEFF-3.1	3.2 кэВ	100 кэВ

На рисунке 8 сравниваются оцененные энергетические поведения сечения радиационного захвата в области неразрешенных резонансов и гладких сечений.

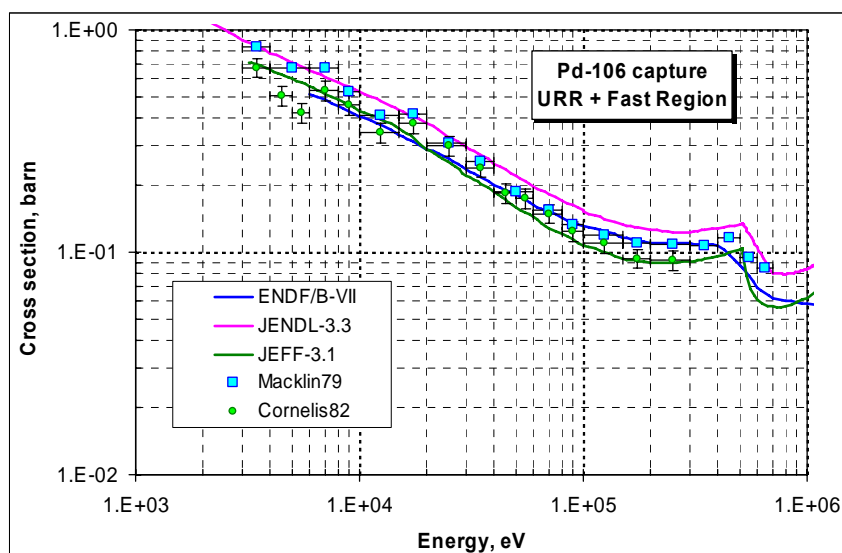


Рисунок 8. Сечение резонансного захвата Pd-106 вне резонансной области.

Преимущества оценки, принятой в ENDF/B-VII, в области разрешенных резонансов очевидны. Однако отсутствие области неразрешенных резонансов является серьезным недостатком оценки ENDF/B. В области энергий неразрешенных резонансов и выше оценка ENDF/B ориентирована на экспериментальные данные Маклина (1979 г.), а оценка JEFF – на более свежий эксперимент Корнелиса (1982) и имеет более низкие значения в области энергий ниже 30 кэВ. Поскольку процентное содержание данного изотопа наибольшее из всех стабильных изотопов палладия, то становится существенным и величина сечения радиационного захвата. Похоже, что оценка сечения радиационного захвата из JEFF является более привлекательной в этой области энергии.

Заключение

На основе анализа наиболее важной величины – сечения радиационного захвата нейтронов – рекомендуется включить в РОСФОНД файл данных из JEFF-3.1, заменив в ней нейтронные данные в области разрешенных резонансов из ENDF/B-VIIb2. Следует сюда добавить так же фотонные данные из ENDF/B-VII.

Автор рекомендации

Кошечев В.Н.

46.7. Палладий-107

Радиоактивен ($T_{1/2}=6.5 \cdot 10^6$ лет). Продукт деления, входит в десятку наиболее важных продуктов деления. Его выход при делении урана-235 тепловыми нейтронами – $1.82 \cdot 10^{-2}$.

Имеется три полных набора оцененных нейтронных данных:

ENDF/B-VIIb2 оценка Кима, Хермана, Обложинского, оха и Мухабхаба (Kim, Herman, Oblozinsky, Oh, Mughabg) 2005 г. По сути дела она представляет собой слегка откорректированную оценку JENDL-3.3.

JENDL-3.3 – оценка, выполненная японской рабочей группой по продуктам деления в 1990 году и пересмотренная в 2002 году.

JEFF-3.1 - оценка Группелаара и Менапаса (H Gruppelaar, E. Menapace, 1983г.).

Границы областей резонансного взаимодействия для Pd-107 показаны ниже в таблице 6.

Таблица 6. Границы резонансных областей Pd-107.

Оценка	верхняя энергия разрешенных рез-сов	верхняя энергия неразрешенных рез-сов
ENDF/B-VII	1.0 кэВ	100 кэВ
JENDL-3.3	1.0 кэВ	100 кэВ
JEFF-3.1	0.66 кэВ	50 кэВ

В таблице 7 приводится сравнение значений оцененных сечений захвата тепловых нейтронов и резонансного интеграла с аналогичными величинами из рекомендации Мухабхаба 1981 г. Экспериментальных данных для их проверки в EXFORе нет.

Таблица 7. Резонансные свойства Pd-107.

	$\sigma_c(0.0253 \text{ eV})$	RI_c
ENDF/B-VII-b2	2.008 барна	111.4 барна
JENDL-3.3	2.008 барна	111.4 барна
JEFF-3.1	1.805 барна	105.1 барн
Мухабхаб-81	1.8 ± 0.2 барна	86.6 барна

На рисунке 9 сравниваются оцененные энергетические поведения сечения захвата вне резонансной области. Как видно, там, где имеются экспериментальные данные, оцененные сечения согласуются с ними и друг с другом.

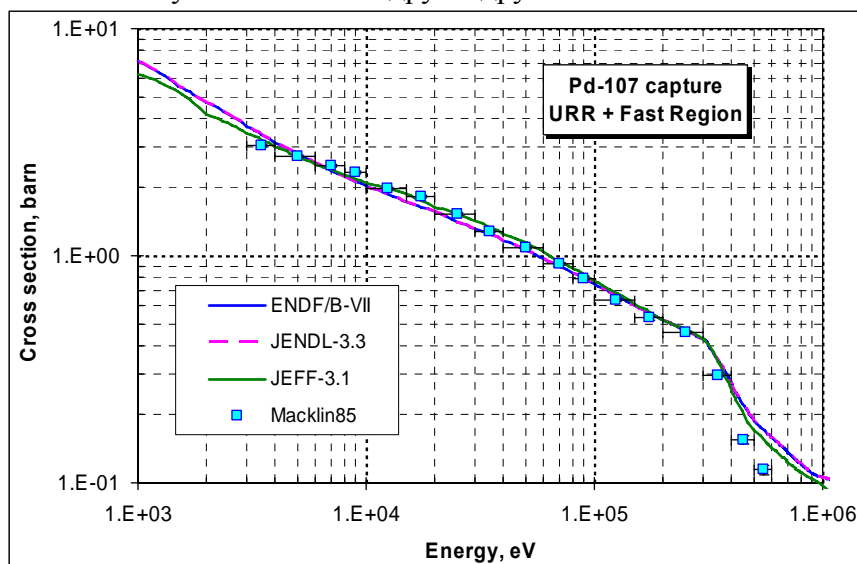


Рисунок 9. Сечение радиационного захвата Pd-105 вне резонансной области.

Заключение

На основе анализа наиболее важной величины – сечения радиационного захвата нейтронов – рекомендуется включить в РОСФОНД нейтронные данные из ENDF/B-VIIb2, которые косметически корректирует оценку JENDL-3.3.

Автор рекомендации
Кощеев В.Н.

46.8. Палладий-108

Содержание в естественной смеси -26.46%. Продукт деления, входит в тридцатку наиболее важных продуктов деления. Выход при делении урана-235 тепловыми нейтронами – $1.58 \cdot 10^{-2}$.

Имеется три полных набора оцененных нейтронных данных:

ENDF/B-VIIb2 оценка Янга и Мухабхаба (Yang, Myghabghab) 2005 г., содержащая резонансные параметры из нового атласа Мухабхаба 2006г. (ниже 5.5 кэВ) и теоретическую оценку Янга 1996 г. (ENDF/B-VI) выше этой энергии; Области неразрешенных резонансов нет.

JENDL-3.3 - оценка японской рабочей группой по продуктам деления, 1990 г., существенно пересмотренная в 2002 году.

JEFF-3.1 - оценка Группелаара и Менапаса (H Gruppelaar, E. Menapace, 1982 г.). По сути, это – оценка JEF-2.2.

Границы областей резонансного взаимодействия для Pd-108 показаны ниже в таблице 8.

Таблица 8. Границы резонансных областей Pd-108.

Оценка	верхняя энергия разрешенных рез-сов	верхняя энергия неразрешенных рез-сов
ENDF/B-VII	5.5 кэВ	отсутствует
JENDL-3.3	9.0 кэВ	100 кэВ
JEFF-3.1	3.2 кэВ	100 кэВ

В таблице 9 приводится сравнение оцененных значений сечения захвата тепловых нейтронов и резонансного интеграла с аналогичными величинами из рекомендаций Мухабхаба 1981 г. и 2002 г.

Таблица 9. Резонансные свойства Pd-108.

	$\sigma_c(0.0253 \text{ eV})$	RI_c
ENDF/B-VII-b2	8.48 барна	243.3 барна
JENDL-3.3	8.50 барна	251.8 барна
JEFF-3.1	7.36 барна	173.0 барн
Мухабхаб-81	7.6±0.4 барна	244±4 барна
Мухабхаб-02	8.3±0.5 барна	244±4 барна

Из приведенного в таблице 9 сравнения видно, что в компиляции 2002 года Мухабхаб пересмотрел тепловое сечения в сторону его увеличения, а значение резонансного интеграла осталось прежним. Наилучшим образом с рекомендованными величинами согласуется оценка ENDF/B-VII. Оценка JENDL также хорошо согласуется с данными Мухабхаба. Оценка JEFF-3.1 заметно уступает современным требованиям в тепловой области.

На рисунке 10 сравниваются оцененные энергетические поведения сечения радиационного захвата Pd-108 в области разрешенных резонансов.

Из приведенного на рисунке 10 сравнения оцененных сечений радиационного захвата видно, что оценки ENDF/B-VII и JENDL-3.3 практически неразличимы в области энергий разрешенных резонансов, в то время, как оценка JEFF значительно от них отличается.

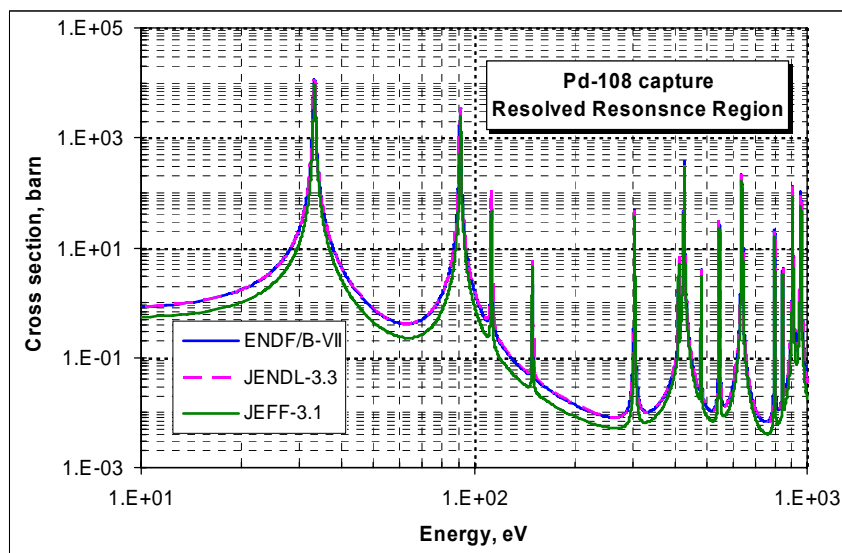


Рисунок 10. Сечение радиационного захвата Pd-108 в резонансной области

На рисунке 11 сравниваются оцененные энергетические поведения сечения радиационного захвата в области неразрешенных резонансов и гладких сечений.

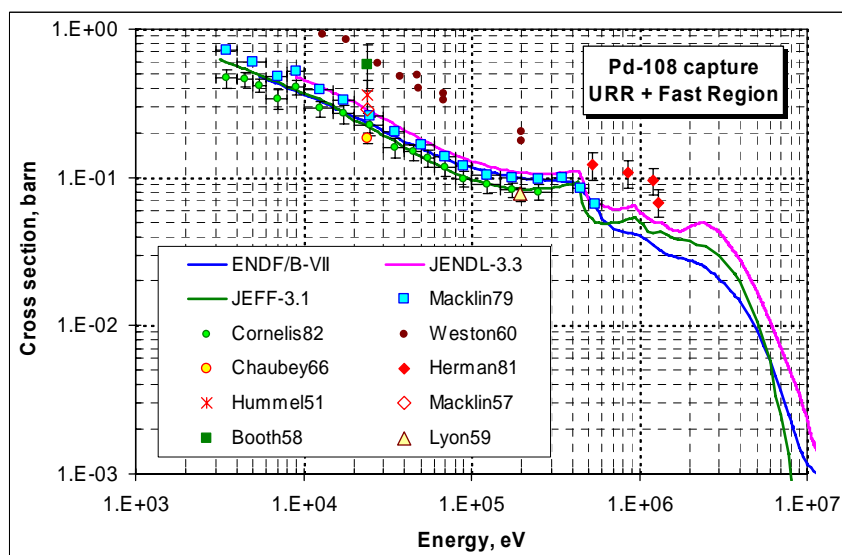


Рисунок 11. Сечение резонансного захвата Pd-108 вне резонансной области.

Из приведенного на рисунке 11 сравнения видно, что в области энергий неразрешенных резонансов и выше оценка ENDF/B ориентирована на экспериментальные данные Маклина (1979 г.), а оценка JEFF – на более свежий эксперимент Корнелиса (1982) и имеет более низкие значения в области энергий ниже 30 кэВ.

Преимущества оценки, принятой в ENDF/B-VII, в области разрешенных резонансов очевидны. Однако отсутствие области неразрешенных резонансов является серьезным недостатком оценки ENDF/B. Поскольку процентное содержание данного изотопа наибольшее из всех стабильных изотопов палладия, то становится существенным и величина сечения радиационного захвата. Оценка сечения радиационного захвата из JEFF является более привлекательной в этой области энергии.

Заключение

На основе анализа наиболее важной величины – сечения радиационного захвата нейтронов – рекомендуется включить в РОСФОНД файл данных из JEFF-3.1, заменив в ней нейтронные данные в области разрешенных резонансов из ENDF/B-VII. Следует сюда добавить так же фотонные данные из ENDF/B-VII.

Автор рекомендации

Кошечев В.Н.

46.9. Палладий-110

Содержание в естественной смеси -11.72%. Продукт деления, входит в пятьдесят наиболее важных продуктов деления. Выход при делении урана-235 тепловыми нейтронами – $1.18 \cdot 10^{-2}$.

Имеется три полных набора оцененных нейтронных данных:

ENDF/B-VIIb2 оценка Янга и Мухабхаба (Yang, Myghabghab) 2005 г., содержащая резонансные параметры из нового атласа Мухабхаба 2006г. (ниже 6.8 кэВ) и теоретическую оценку Янга 1996 г. (ENDF/B-VI) выше этой энергии; Области неразрешенных резонансов нет.

JENDL-3.3 - оценка японской рабочей группой по продуктам деления, 1990 г., существенно пересмотренная в 2002 году.

JEFF-3.1 - оценка Группелаара и Менапаса (H Gruppelaar, E. Menapace, 1982 г.). По сути, это – оценка JEF-2.2.

Границы областей резонансного взаимодействия для Pd-110 показаны ниже в таблице 10.

Таблица 10. Границы резонансных областей Pd-110.

Оценка	верхняя энергия разрешенных рез-сов	верхняя энергия неразрешенных рез-сов
ENDF/B-VII	6.8 кэВ	отсутствует
JENDL-3.3	8.0 кэВ	100 кэВ
JEFF-3.1	2.9 кэВ	100 кэВ

В таблице 11 приводится сравнение оцененных значений сечения захвата тепловых нейтронов и резонансного интеграла с аналогичными величинами из рекомендации Мухабхаба 1981 г.(= 2002 г.).

Таблица 9. Резонансные свойства Pd-108.

	$\sigma_c(0.0253 \text{ eV})$	RI_c
ENDF/B-VII-b2	0.229 барна	2.96 барна
JENDL-3.3	0.227 барна	2.65 барна
JEFF-3.1	0.227 барна	2.30 барна
Мухабхаб-81	0.227 ± 0.032 барна	3.1 ± 0.4 барна

Из приведенного в таблице 9 сравнения видно, что наилучшим образом с рекомендованными величинами согласуется оценка ENDF/B-VII. Оценка JENDL также хорошо согласуется с данными Мухабхаба. Оценка JEFF-3.1 не согласуется со значением резонансного интеграла.

На рисунке 12 сравниваются оцененные энергетические поведения сечения радиационного захвата Pd-108 в области разрешенных резонансов.

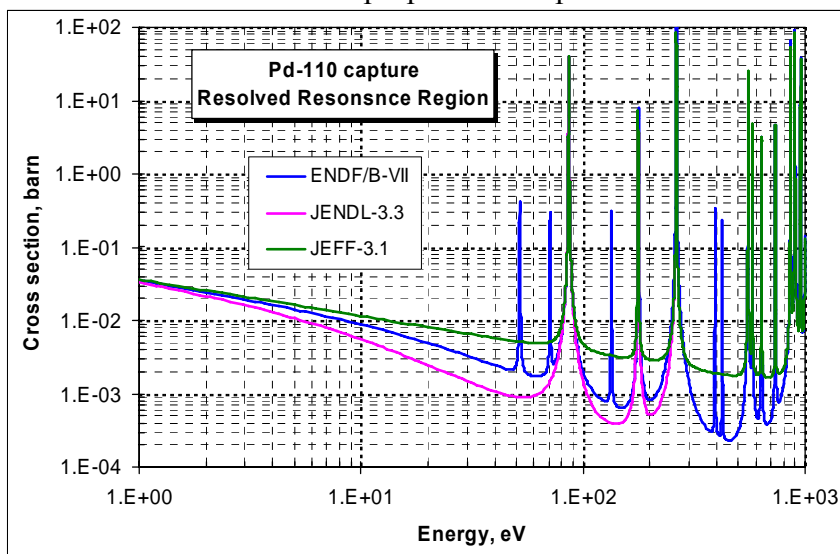


Рисунок 12. Сечение радиационного захвата Pd-108 в резонансной области

Из приведенного на рисунке 12 сравнения оцененных сечений радиационного захвата видно, что оценка ENDF/B-VII в области энергий разрешенных резонансов содержит большее число резонансных уровней и выгодно отличается от оценки JENDL-3.3 и JEFF-3.1.

На рисунке 13 сравниваются оцененные энергетические поведения сечения радиационного захвата в области неразрешенных резонансов и гладких сечений.

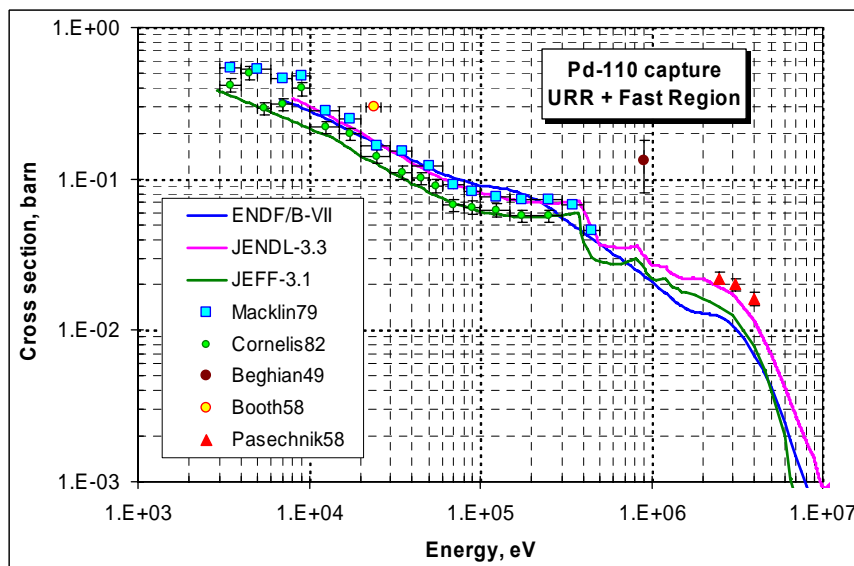


Рисунок 13. Сечение резонансного захвата Pd-110 вне резонансной области.

Из приведенного на рисунке 13 сравнения видно, что в области энергий неразрешенных резонансов и выше оценка ENDF/B ориентирована на экспериментальные данные Маклина (1979 г.), а оценка JEFF – на более свежий эксперимент Корнелиса (1982) и имеет более низкие значения до 300 кэВ. Далее они близки друг к другу. Оценка JENDL-3.3 так же, как и ENDF/B, ориентирована на эксперимент Маклина и выше 400 кэВ имеет наиболее высокие значения сечения захвата.

Преимущества оценки, принятой в ENDF/B-VII, в области разрешенных резонансов очевидны. Однако отсутствие области неразрешенных резонансов, как в случае Pd-106 и Pd-108, является серьезным недостатком оценки ENDF/B. Оценка сечения радиационного захвата из JEFF и для Pd-110 является более привлекательной в этой области энергии.

Заключение

На основе анализа наиболее важной величины – сечения радиационного захвата нейтронов – рекомендуется включить в РОСФОНД файл данных из JEFF-3.1, заменив в ней нейтронные данные в области разрешенных резонансов из ENDF/B-VII. Следует сюда добавить так же фотонные данные из ENDF/B-VII.

Автор рекомендации

Кошечев В.Н.