

# 44.РУТЕНИЙ

## 44.1. Рутений-96

Содержание в природной смеси изотопов 5.54%

В современных библиотеках содержатся две полных оценки нейтронных данных:

JEFF-3.1 – оценка координационной группы 1982 г., перешедшая из JEF-2\$

JENDL-3.3 – оценка японской группы по продуктам деления 1990 г., принятая и в ENDF/B-VIIb2.

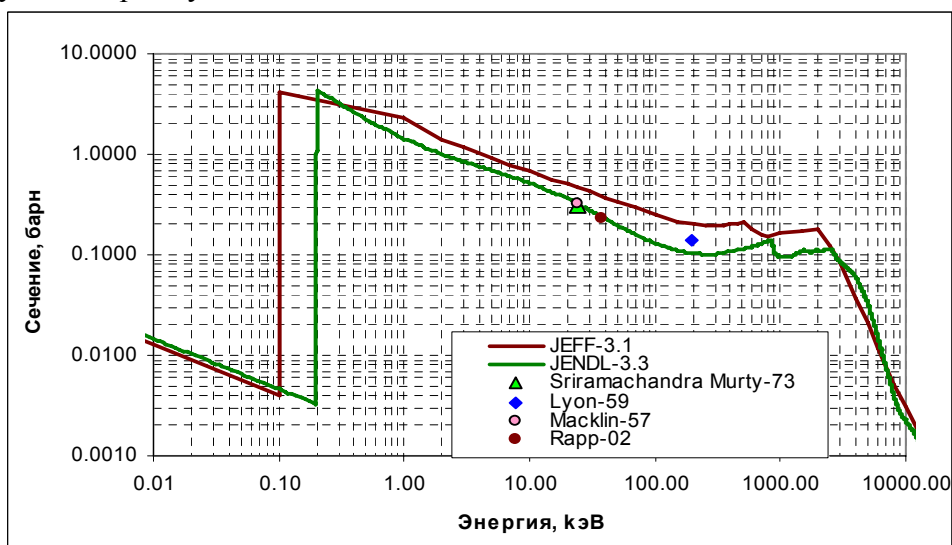
Область разрешенных резонансов в обеих оценках отсутствует.

В JENDL-3.3 введена область неразрешенных резонансов от 200 эВ до 100 кэВ.

Следующие из оценок тепловые сечения и резонансные интегралы захвата приводятся ниже вместе с экспериментальными данными. Резонансный интеграл в JEFF-3.1 завышен относительно эксперимента.

Источник	$\sigma(0.0253 \text{ эВ})$		RI
	Полное	Захват	Захват
<b>JEFF-3.1</b>	<b>6.21</b>	<b>0.25</b>	<b>12.22</b>
<b>JENDL-3.3</b>	<b>5.42</b>	<b>0.29</b>	<b>6.93</b>
Heft-78		0.218±0.004	7.0±0.3
Ricabarra-72			6.67±0.11
Halperin-65		0.271±0.027	5.51±0.04
Bereznai-72			6.5±0.8
Katcoff-58		0.21	

На рис. 1 сравниваются оценки сечения захвата. Приведены и экспериментальные данные, демонстрирующие преимущество оценки JENDL-3.3.



### Заключение

В РОСФОНД целесообразно включить данные из JENDL-3.3. Дополнить данные файлом MF=9 с вероятностями образования долгоживущего изомера <sup>95</sup>Tc, используя информацию из EAF-2003.

**Автор рекомендации**

Николаев М.Н.

## 44.2. Рутений-97

Радиоактивен ( $T_{1/2}=2.9$  дн.). Захватывая орбитальный электрон распадается в долгоживущий ( $T_{1/2}=4.10^6$  лет.) технеций-97.

Полных наборов оцененных нейтронных данных не имеется. В УФА-2003 содержится последняя оценка нейтронных сечений из которой следуют следующие параметры радиационного захвата:

$$\sigma_c(0.0253 \text{ eV})=18.7 \text{ барна}$$

$$RI_c=78.7 \text{ барна.}$$

Экспериментальных данных для проверки оцененных данных нет.

### 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. Ввести файл MF=9 с секциями MT=32, 103, 105 с вероятностями образования долгоживущих изомеров технеция. Файлу присвоить MAT=3883

### Автор рекомендации

Николаев М.Н.

## 44.3. Рутений-98

Содержание в природной смеси изотопов 1.87%

В современных библиотеках содержатся две полные оценки нейтронных данных:

JEFF-3.1 – оценка координационной группы 1982 г., перешедшая из JEF-2\$

JENDL-3.3 – оценка японской группы по продуктам деления 1990 г., принятая и в ENDF/B-VIIb2.

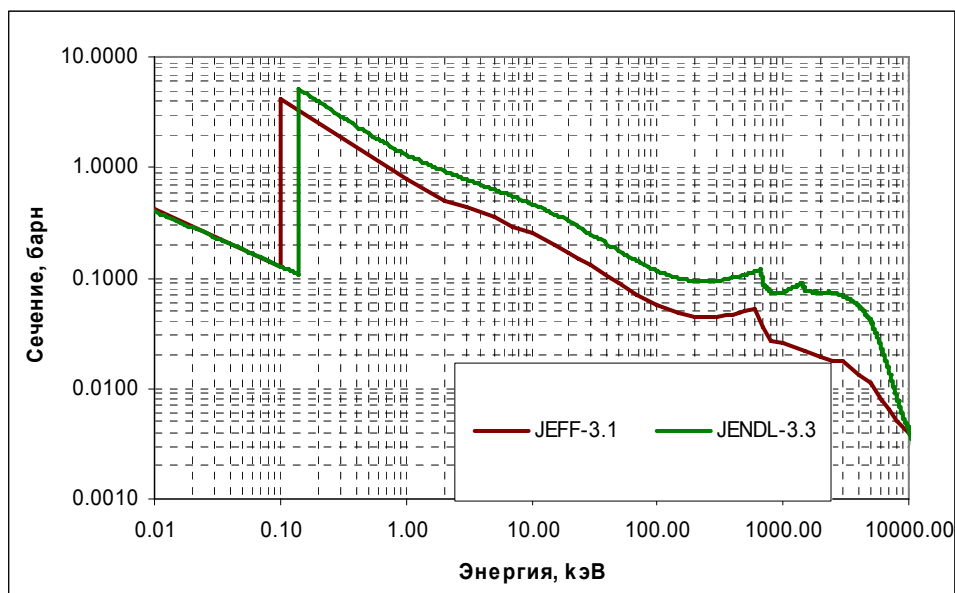
Область разрешенных резонансов в обеих оценках отсутствует.

В JENDL-3.3 введена область неразрешенных резонансов от 140 эВ до 100 кэВ.

Следующие из оценок тепловые сечения и резонансные интегралы захвата приводятся ниже вместе с экспериментальными данными.

Источник	$\sigma(0.0253 \text{ эВ})$		RI
	Полное	Захват	Захват
<b>JEFF-3.1</b>	<b>13.98</b>	<b>7.95</b>	<b>11.79</b>
<b>JENDL-3.3</b>	<b>13.13</b>	<b>8.00</b>	<b>11.23</b>
<b>Halperin-64</b>		<b>8.0</b>	

На рис. 1 сравниваются оценки сечения захвата. Экспериментальные данные в EXFORе отсутствуют. Выше 200эВ оцененная кривая JENDL-3.3 в точности совпадает с таковой для рутерия-96.



### Заключение

В РОСФОНД целесообразно включить данные из JENDL-3.3. Дополнить данные файлом MF=9 с вероятностями образования долгоживущего изомера  $^{97}\text{Tc}$ , используя информацию из EAF-2003.

### Автор рекомендации

Николаев М.Н.

## 44.4. Рутений-99

Содержание в природной смеси изотопов 12.76%

Продукт деления. Выход при делении урана-235 тепловыми нейтронами  $2.0 \cdot 10^{-6}$ .

В современных библиотеках содержатся две полных оценки нейтронных данных:

JEFF-3.1 – оценка координационной группы 1982 г., перешедшая из JEF-2\$

JENDL-3.3 – оценка японской группы по продуктам деления 1990 г., принятая и в ENDF/B-VIIb2.

Область разрешенных резонансов распространена:

В JEFF-3.1 до 1071 эВ и содержит 36 резонансов с  $E_{\text{max}}=994.6$  эВ;

В JENDL-3.3 до 1000 эВ и содержит 40 резонансов с  $E_{\text{max}}=994.6$  эВ;

На рис.1 сравниваются нарастающие суммы числа резонансов, а на рис 2 – нарастающие суммы приведенных нейтронных ширин. Видно, что набор резонансов в JENDL-3.3 пополнен существенно и пропуск, по крайней мере, сильных s-резонансов не проявляется.

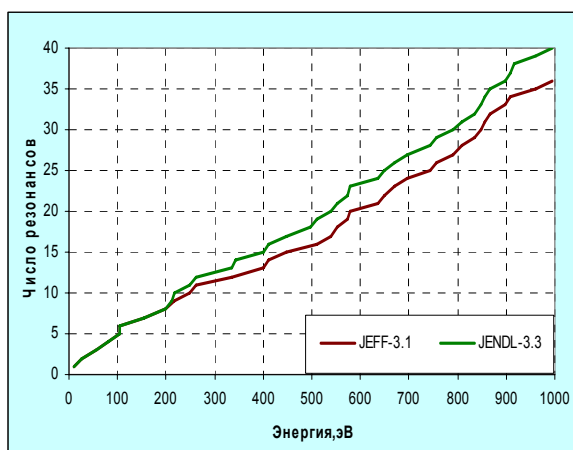


Рис.1

Нарастающие суммы числа резонансов

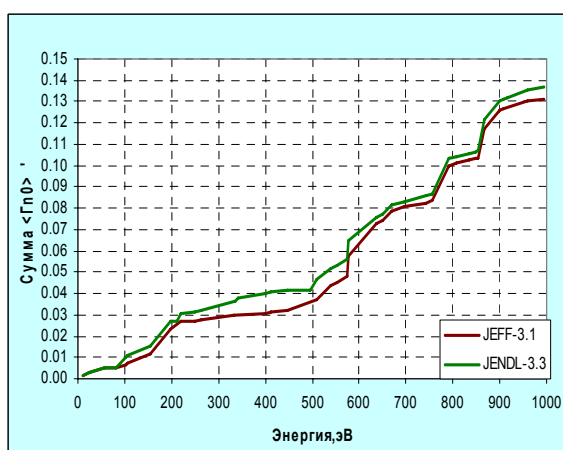


Рис.2

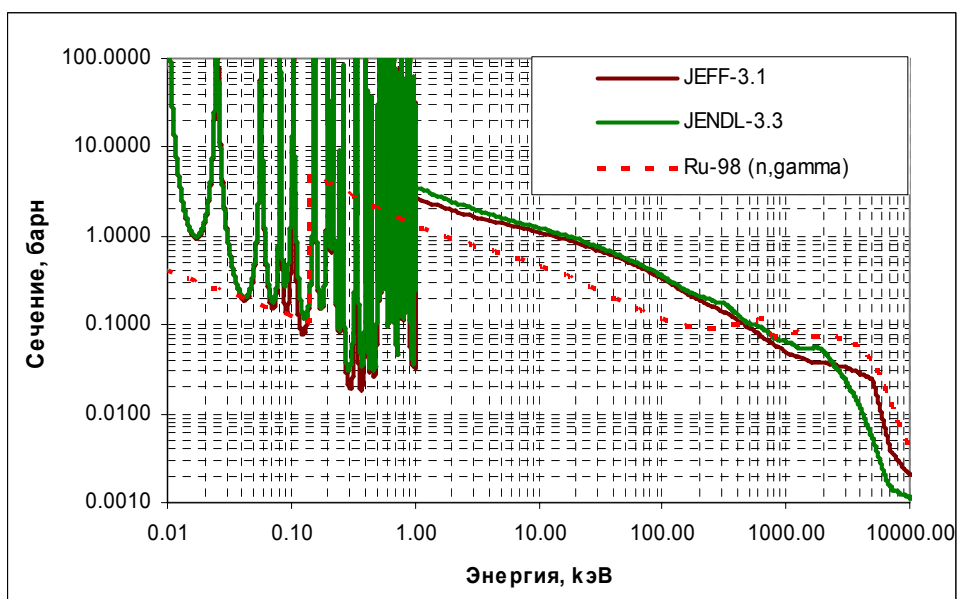
Нарастающие суммы приведенных ширин

В JENDL-3.3 введена область неразрешенных резонансов от 1000 эВ до 100 кэВ.

Следующие из оценок тепловые сечения и резонансные интегралы захвата приводятся ниже вместе с экспериментальными данными. Можно отметить несколько лучшее согласие с экспериментальными данными оценки JENDL-3.3.

Источник	$\sigma(0.0253 \text{ эВ})$		RI
	Полное	Захват	Захват
<b>JEFF-3.1</b>	<b>12.1</b>	<b>7.1</b>	<b>162.3</b>
<b>JENDL-3.3</b>	<b>11.0</b>	<b>7.3</b>	<b>170.5</b>
Halperin-64		10.6±0.6	
Halperin-65		4.17±1.04	195±20
Halperin-65		4.37±1.04	

На рис. 1 сравниваются оценки сечения захвата. Экспериментальные данные в EXFORе отсутствуют. Для сравнения приведено сечение захвата на рутении-98 в соответствии с оценкой JENDL-3.3.



## Заключение

В РОСФОНД целесообразно включить данные из JENDL-3.3. Дополнить данные файлом MF=9 с вероятностями образования долгоживущего изомера  $^{97}\text{Tc}$ , используя информацию из EAF-2003.

### Автор рекомендации

Николаев М.Н.

## 44.5. Рутений-100

Содержание в природной смеси изотопов 12.60%

Продукт деления. Выход при делении урана-235 тепловыми нейтронами  $1.3 \cdot 10^{-7}$ .

В современных библиотеках содержатся три полных оценки нейтронных данных:

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

JENDL-3.3 – оценка японской группы по продуктам деления 1990 г.

ENDF/B-VIIb2 – оценка международной рабочей группы по продуктам деления с привлечением С.Мухабхаба-2005г..

Область разрешенных резонансов распространена:

в JEFF-3.1 до 502.32 эВ и содержит 1 резонанс с  $E=230.5$  эВ;

в JENDL-3.3 – до 11890 эВ и содержит 20 резонансов с  $E_{\text{max}}=11731$  эВ и 91 р-резонанс с  $E_{\text{max}}=11901$  эВ;

в ENDF/B-VIIb2 – до 12000 эВ и содержит 13 резонансов с  $E_{\text{max}}=11730$  эВ и 75 р-резонанс с  $E_{\text{max}}=11626$  эВ.

То, что оценка Группелаара и Менапаса устарела, очевидно, и ниже она не рассматривается. Обращает на себя внимание то, что более поздняя оценка ENDF/B-VIIb2 содержит в той же энергетической области меньшее число резонансов, чем оценка, принятая в JENDL-3.3

На рис. 1а сравниваются нарастающие суммы числа s- и р-резонансов. Видно, что после 2.7 кэВ кривые идут строго параллельно, а до этого в наборе ENDF/B-VII наблюдается явный дефицит резонансов. Этот дефицит еще более ярко проявляется при сравнении нарастающих сумм всех резонансов вместе (рис 1б). В Наборе ENDF/B-VII присутствует только один резонанс ниже 2.7 кэВ – это резонанс при 228.5 эВ, присутствующий во всех оценках. Чрезвычайно низкая плотность уровней ниже 2.7 кэВ в ENDF/B-VIIb2 является следствием какой-то грубой ошибки и предлагаемый в этой библиотеке набор резонансов неприемлем.

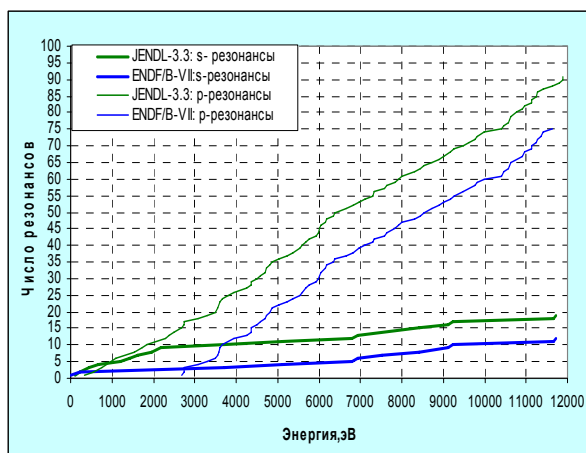


Рис. 1а

Нарастающие суммы числа s- и р-резонансов

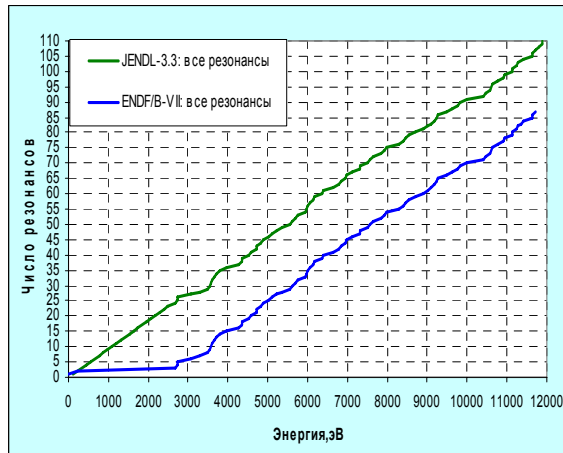


Рис. 1б

Нарастающие суммы числа всех резонансов

Из рис.1а можно заключить, что набор s-резонансов в JENDL-3.3 выше 2.2 кэВ неполон: наклон нарастающей суммы резко снижается. Однако нарастающая сумма приведенных нейтронных ширин указывает на то, что если какие-то s- резонансы и пропущены, то их ширины весьма малы. Фактически часть s-резонансов с малыми ширинами, видимо, просто идентифицирована как р-резонансы. О чем можно судить и по несколько возросшему наклону нарастающей суммы р-резонансов выше 2.5 кэВ (см.рис.1а).

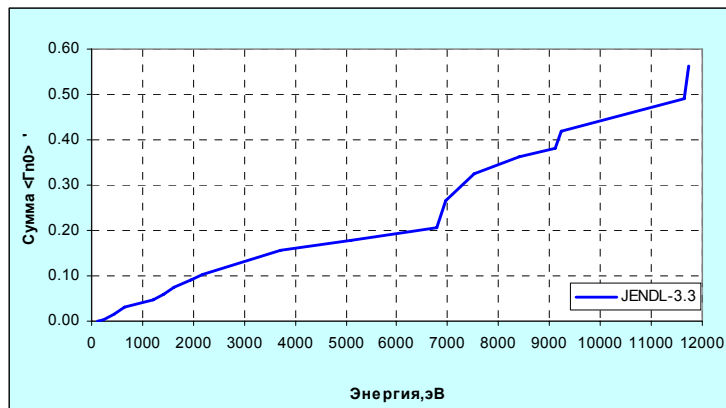


Рис.2. Нарастающая сумма приведенных нейтронных ширин s-резонансов.

И в JENDL-3.3 и в ENDF/B-VII введена область неразрешенных резонансов от 12000 эВ до 100 кэВ. Следующие из оценок тепловые сечения и резонансные интегралы захвата приводятся ниже вместе с экспериментальными данными. Можно отметить заметно лучшее согласие с экспериментальными данными оценки JENDL-3.3.

Источник	$\sigma(0.0253 \text{ эВ})$		RI
	Полное	Захват	Захват
<b>JEFF-3.1</b>	<b>11.5</b>	<b>5.0</b>	<b>10.9</b>
<b>JENDL-3.3</b>	<b>15.2</b>	<b>5.8</b>	<b>11.2</b>
Halperin-64		10.6±0.6	
Halperin-65		5.84±0.61	11.2±2.7
Halperin-65		6.12±0.7	

На рис. 3 сравниваются оценки сечения захвата. В резонансной области отчетливо виден эффект пропуска резонансов в ENDF/B-VII, частично скомпенсированный введенным, видимо, искусственно, резонансом при 1 эВ. Выше 10 кэВ оценки совпадают и основываются на результатах Маклина.

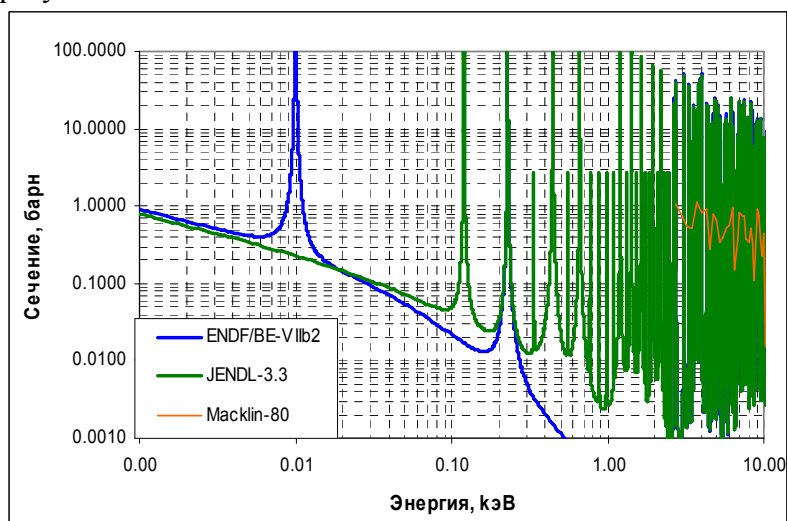


Рис.3а. Сечение захвата

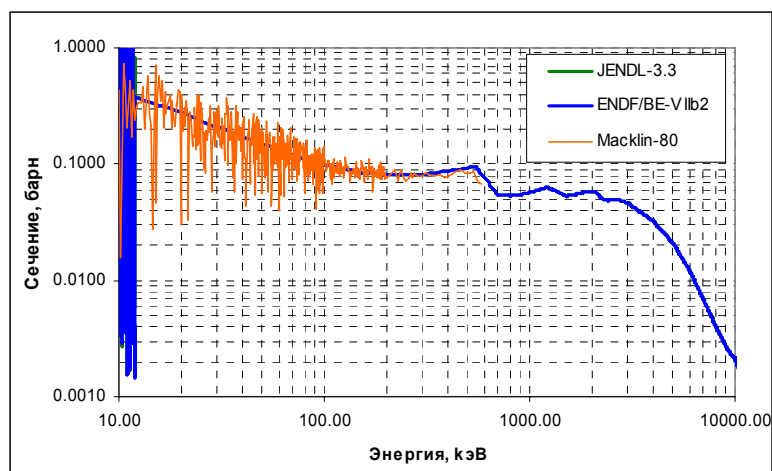


Рис.36. Сечение захвата.

### Заключение

В РОСФОНД целесообразно включить данные из JENDL-3.3.

### Автор рекомендации

Николаев М.Н.

## 44.6. Рутений-101

Содержание в природной смеси изотопов 17.06%

Продукт деления. Выход при делении урана-235 тепловыми нейтронами  $5.17 \cdot 10^{-2}$ .

В современных библиотеках содержатся три полных оценки нейтронных данных:

JEFF-3.1 – Группелаара (H.Gruppelaar) 1986 г.;

JENDL-3.3 – оценка японской группы по продуктам деления 1990 г.;

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

Область разрешенных резонансов распространена:

в JEFF-3.1 – до 1044.26 эВ и содержит 40 резонансов с  $E_{\max}=1035$  эВ;

в JENDL-3.3 – до 1060 эВ и содержит 58 резонансов с  $E_{\max}=1720$  эВ (из них 54 – s-резонансы);

в ENDF/B-VIIb2 – до 1035.4 эВ и содержит 48 резонансов ( из них 41s-резонанс).

На рис.1 сравниваются нарастающие суммы числа резонансов (p-резонансы не выделены поскольку их число мало, а надежность отнесения их к популяции p-резонансов невелика), а на рис 2 – нарастающие суммы приведенных нейтронных ширин. В последнем случае «примесь» p-резонансов вообще не могла проявиться сколько-нибудь существенно. Различия, как видим, не очень велики; Нарастающая сумма приведенных нейтронных ширин, следующая из оценки JENDL-3.3 наиболее близка к прямой, т.е. если в этой оценке и присутствуют «лишние» с точки зрения более поздней оценки ENDF/B0-VII резонансы, то их число и ширины статистически оправданы.

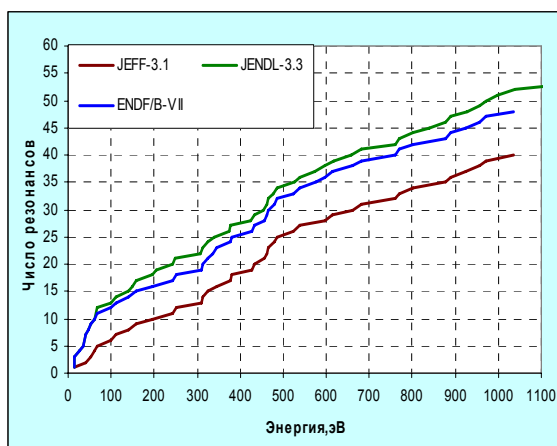


Рис.1

Нарастающие суммы числа резонансов

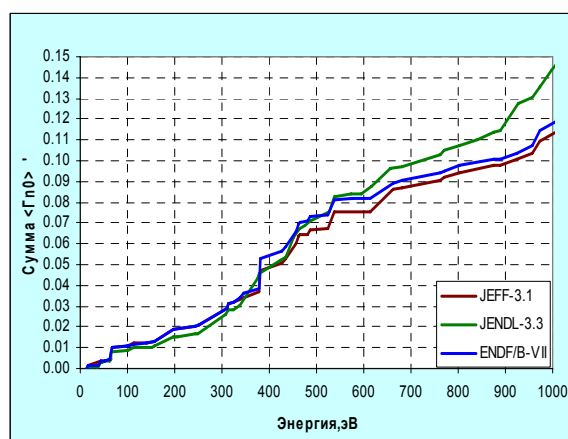


Рис.2

Нарастающие суммы приведенных ширин

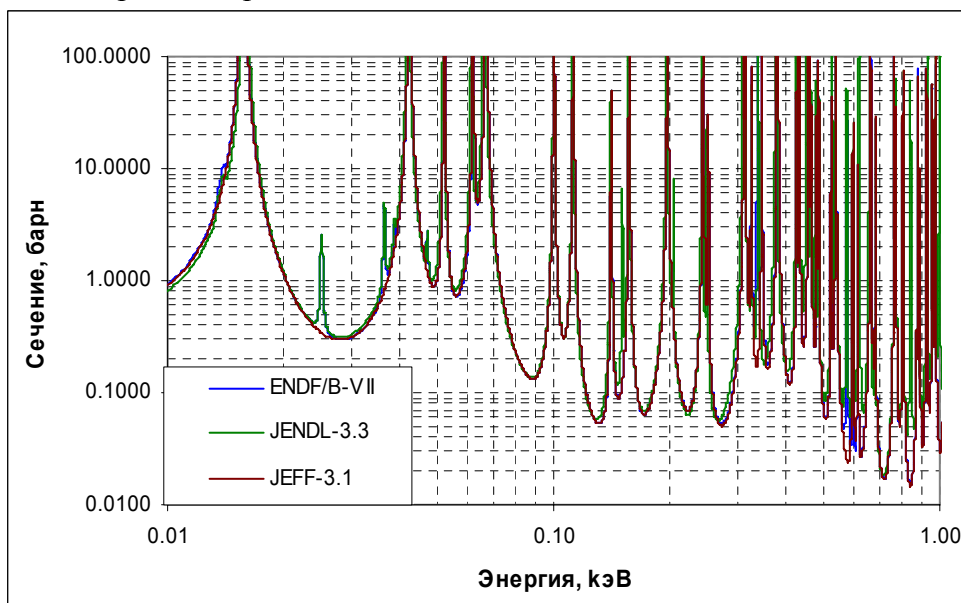
Во всех оценках введена область неразрешенных резонансов, простирающаяся до 25 (JEFF-3.1) или до 100 кэВ.

Следующие из оценок тепловые сечения и резонансные интегралы захвата приводятся ниже вместе с экспериментальными данными.

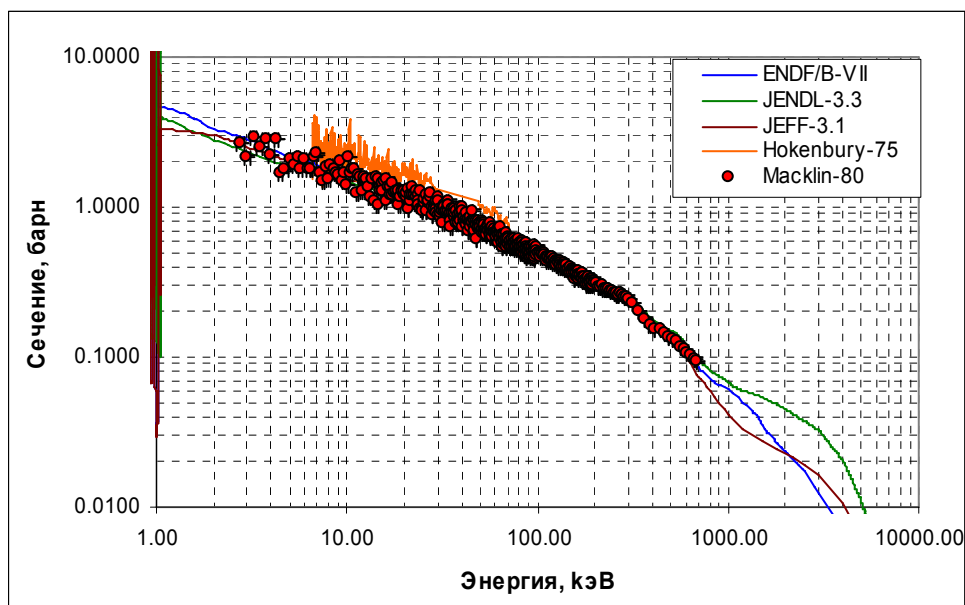
Источник	$\sigma(0.0253 \text{ эВ})$		RI
	Полное	Захват	Захват
<b>JEFF-3.1</b>	<b>8.49</b>	<b>3.41</b>	<b>110.5</b>
<b>JENDL-3.3</b>	<b>7.12</b>	<b>3.36</b>	<b>99.6</b>
<b>ENDF/B-VIIb2</b>	<b>7.95</b>	<b>3.45</b>	<b>111.1</b>
Halperin-65		5.25±1.4	
Halperin-65		5.48±1.4	79.1±8
Halperin-64		3.1±0.6	

По сравнению с последними измерениями Гальперина оцененные сечения захвата представляются низковатыми. Оценки резонансного интеграла, напротив, завышены относительно результата измерения.

На рис. 1 сравниваются оценки сечения захвата. Вне резонансной области они близки друг к другу и проходят через экспериментальные данные Маклина.







### Заключение

В РОСФОНД целесообразно включить данные из JENDL-3.3

#### Автор рекомендации

Николаев М.Н.

## 44.7. Рутений-102

Содержание в природной смеси изотопов 17.06%

Продукт деления. Выход при делении урана-235 тепловыми нейтронами  $4.92 \cdot 10^{-2}$ .

В современных библиотеках содержатся три полных оценки нейтронных данных:

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

JENDL-3.3 – оценка японской группы по продуктам деления 1990 г.;

ENDF/B-VIIb2 – оценка Ки-Чанг Лианга и Мухабхаба (Qi-Chang Liang, Mughabghab) 2005 г..

Область разрешенных резонансов распространена:

в JEFF-3.1 – до 1610 эВ и содержит 1 s-резонанс с  $E_{\max}=1035$  эВ и 2 p-резонанса;

в JENDL-3.3 – до 13440 эВ и содержит 27 s-резонансов с  $E_{\max}=13179$  эВ (из них один – связанное состояние) и 120 p-резонансов с  $E_{\max}=13347$  эВ;

в ENDF/B-VIIb2 – также до 13400 эВ и содержит 25 s-резонансов с тем же  $E_{\max}=13179$  эВ (из них один – связанное состояние) и 120 p-резонансов с  $E_{\max}=13437$  эВ.

Различия между оценками резонансных параметров в последних двух библиотеках обусловлены, в основном, различием в разделении резонансов по четности (7 различий).

Кроме того, в каждой из оценок присутствует по одному s- и по 2 p-резонанса, отсутствующих в другой в области до 13347 эВ и, наконец, в JENDL-3.3 отмечен p-резонанс при  $E_{\max}=13440$  эВ. Существенно различаются и связанные состояния.

На рис.1 сравниваются нарастающие суммы числа резонансов без различия четности. Пунктиром показана аппроксимирующая прямая, указывающая, что до 7 кэВ в популяции, вероятно, недостает небольшой части резонансов с малыми ширинами. Трудно отдать предпочтение какой-либо из двух последних оценок.

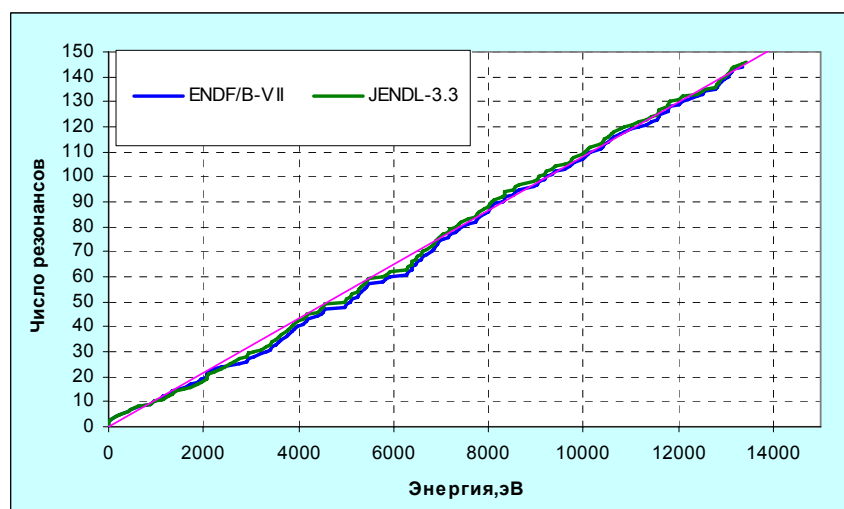


Рис.1. Нарастающая сумма числа всех резонансов

В оценках JENDL-3.3 и ENDF/B-VII введен область неразрешенных резонансов, простирающиеся до 100 кэВ.

Следующие из оценок тепловые сечения и резонансные интегралы захвата приводятся ниже вместе с экспериментальными данными. Основания, по которым резонансный интеграл в ENDF/B-VII возрос по сравнению с JENDL-3.3, вероятно, связаны с учетом неких новых экспериментальных данных, о которых упоминается в кратком описании оценки в файле.

Источник	$\sigma(0.0253 \text{ эВ})$		RI
	Полное	Захват	Захват
<b>JEFF-3.1</b>	<b>5.26</b>	<b>1.30</b>	<b>2.95</b>
<b>JENDL-3.3</b>	<b>6.82</b>	<b>1.23</b>	<b>4.10</b>
<b>ENDF/B-VIIb2</b>	<b>9.82</b>	<b>1.27</b>	<b>5.23</b>
Heft-78		1.31±0.03	4.67±0.75
Van Der Linden-72			4.3±0.4
Ishikawa-69		1.37±0.14	
Lantz-65		1.23±0.12	4.14±0.4
Katcoff-65		1.50	

На рис. 2 сравниваются оценки сечения захвата. Вне резонансной области они близки друг к другу и проходят через экспериментальные Хокебури, Маклина-80 и ранний результат Трофимова. Разброс экспериментальных данных разных авторов довольно велик.

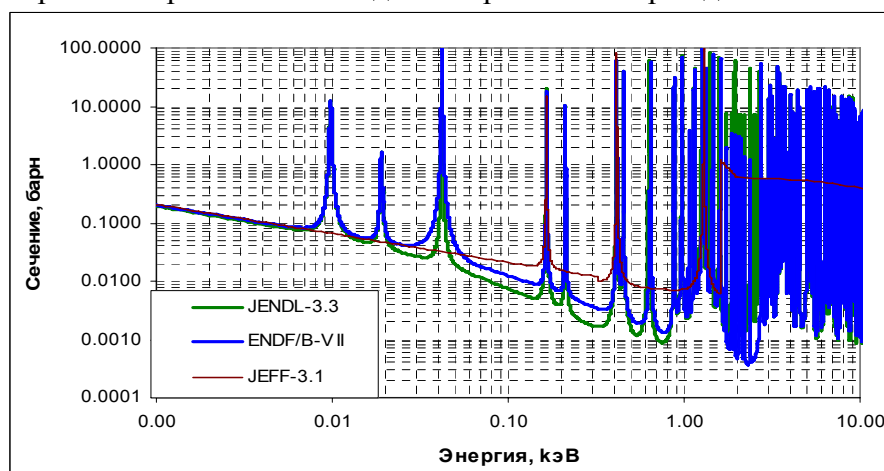


Рис.2.а Сечение захвата

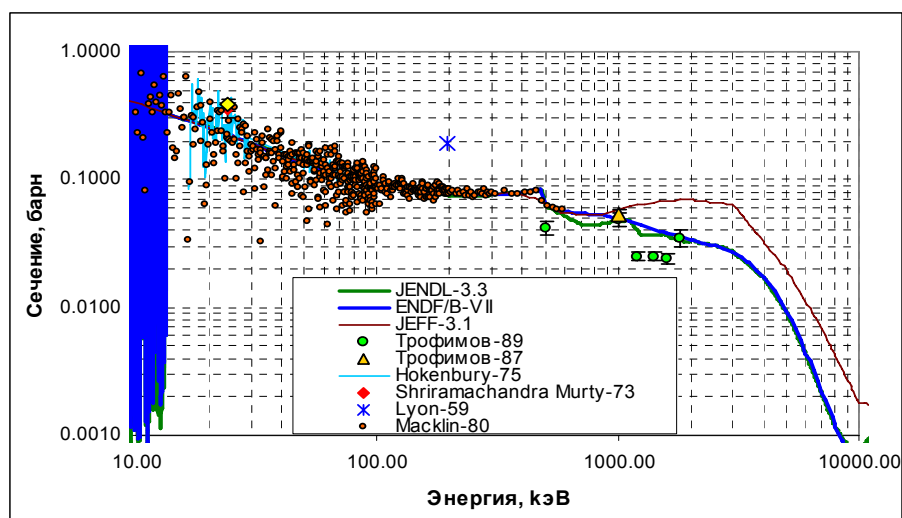


Рис.26. Сечение захвата

### Заключение

В РОСФОНД целесообразно включить данные из ENDF/B-VIIb2.

### Автор рекомендации

Николаев М.Н.

## 44.8. Рутений-103

Радиоактивен ( $T_{1/2}=39.26$  дн.). Испытывает бета-распад в родий-103.

Продукт деления. Выход при делении урана-235 тепловыми нейтронами  $2.4 \cdot 10^{-7}$ .

В современных библиотеках содержатся три полных оценки нейтронных данных:

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

JENDL-3.3 – оценка японской группы по продуктам деления 1990 г.;

ENDF/B-VIIb2 – оценка Ге и Мухабхаба (Z.G.Ge, Mughabghab) 2005 г..

Область разрешенных резонансов распространена:

в JEFF-3.1 – до 46.92 эВ и содержит 9 s-резонансов с  $E_{\max}=46.5$  эВ неизвестного происхождения;

в JENDL-3.3 – RRR отсутствует;

в ENDF/B-VIIb2 – до 350 эВ и содержит 8 s-резонансов, параметры которых оценены на основе данных Ануфриева-80. При этом энергии резонансов сохранены, а нейтронные ширины увеличены в 5 – 10 раз, видимо, с целью согласования резонансного интеграла захвата с измеренным.

Следующие из оценок тепловые сечения и резонансные интегралы захвата приводятся ниже вместе с экспериментальными данными.

Источник	$\sigma(0.0253 \text{ эВ})$		RI
	Полное	Захват	Захват
<b>JEFF-3.1</b>	<b>71.9</b>	<b>66.8</b>	<b>593.5</b>
<b>JENDL-3.3</b>	<b>13.1</b>	<b>8.0</b>	<b>9.3</b>
<b>ENDF/B-VIIb2</b>	<b>6.2</b>	<b>1.2</b>	<b>46.9</b>
Ануфриев-80 <sup>*)</sup>			30

<sup>\*)</sup> от 1 до 50 эВ

На рис. 1 сравниваются оценки сечения захвата.

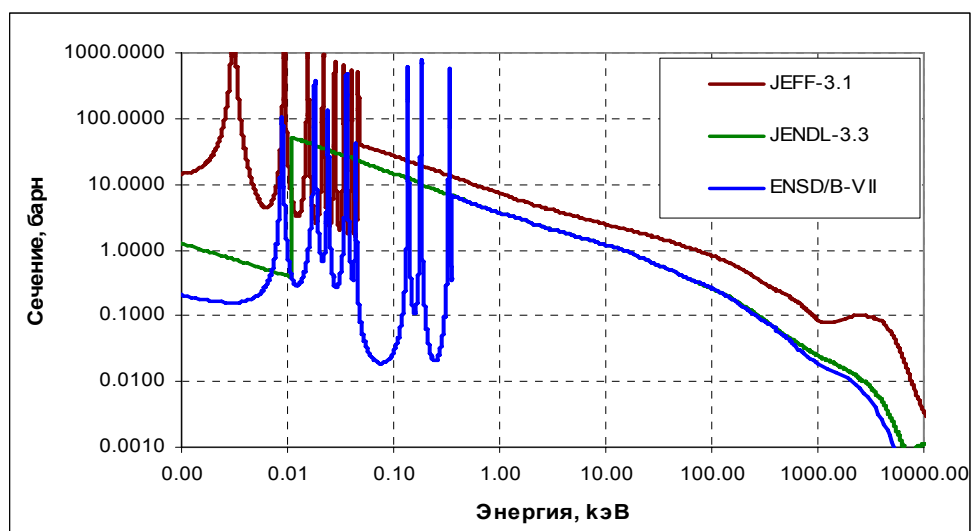


Рис.1. Сечение захвата

### Заключение

В РОСФОНД целесообразно включить данные из ENDF/B-VIIb2 – единственную оценку, учитывающую уникальные экспериментальные данные Ануфриева и др.

### Автор рекомендации

Николаев М.Н.

## 44.9. Рутений-104

Содержание в природной смеси изотопов 18.62%

Продукт деления. Выход при делении урана-235 тепловыми нейтронами  $1.88 \cdot 10^{-2}$ .

В современных библиотеках содержатся три полных оценки нейтронных данных:

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

JENDL-3.3 – оценка японской группы по продуктам деления 1990 г.;

ENDF/B-VIIb2 – оценка Чанга, Лианга, Шена и Суна (Z.J.Zhang, Q.C.Liang, Q.Shen, X.Sun) 2005 г.

Области разрешенных резонансов в двух последних оценках совпадают Единственное, но достаточно существенное отличие состоит в радиационной ширине связанного состояния, которая в ENDF/B-VII принята большей, что отразилось на величинах теплового сечения захвата и резонансного интеграла.

Область разрешенных резонансов распространена:

в JEFF-3.1 – до 1511 эВ и содержит 8 s-резонансов с  $E_{\max}=1441$  эВ;

в JENDL-3.3 и ENDF/B-VIIb2 – до 11120 эВ и содержит 52 s-резонансов с  $E_{\max}=11864$  эВ (из них один – связанное состояние) и 62 p-резонансов с  $E_{\max}=11711$  эВ;

На рис.1 показаны нарастающая сумма числа резонансов без различия четности и нарастающая сумма s- резонансов. Снижение наклона последней указывает на возможный их недостаток выше 7 кэВ (вероятно, за счет некорректного определения четности). На рис. 2. показана нарастающая сумма приведенных нейтронных ширин. Её отличия от линейности хотя и велики, но не противоречат статистически ожидаемым.

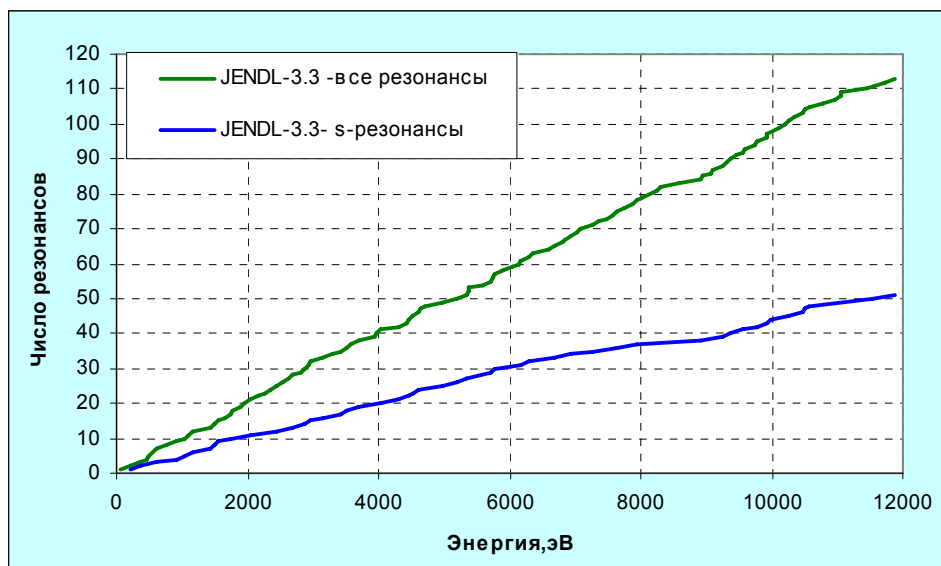


Рис.1. Нарастающая сумма числа резонансов

В оценках JENDL-3.3 и ENDF/B-VII введен область неразрешенных резонансов, простирающиеся до 100 кэВ.

Следующие из оценок тепловые сечения и резонансные интегралы захвата приводятся ниже вместе с экспериментальными данными

Источник	$\sigma(0.0253 \text{ эВ})$		RI
	Полное	Захват	Захват
JEFF-3.1	8.42	0.30	5.64
JENDL-3.3	5.58	0.32	6.39
ENDF/B-VIIb2	5.73	0.47	6.45
Heft-78		0.466±0.015	7.70±0.65
Ricabarra-72			4.36
Lantz-64		0.47	4.6

Причина корректировки данных по сечению захвата тепловых нейтронов ясна. На рис. 2 сравниваются оценки сечения захвата. Ясно виден эффект увеличения радиационной ширины связанного состояния.

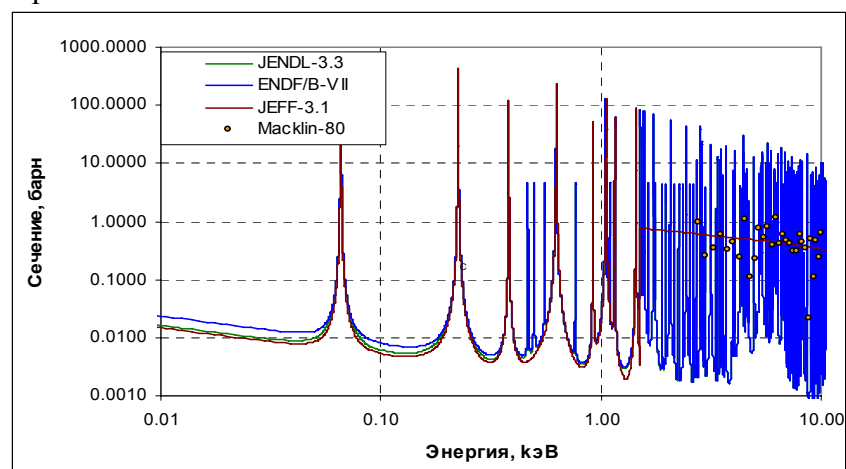


Рис.2.а Сечение захвата

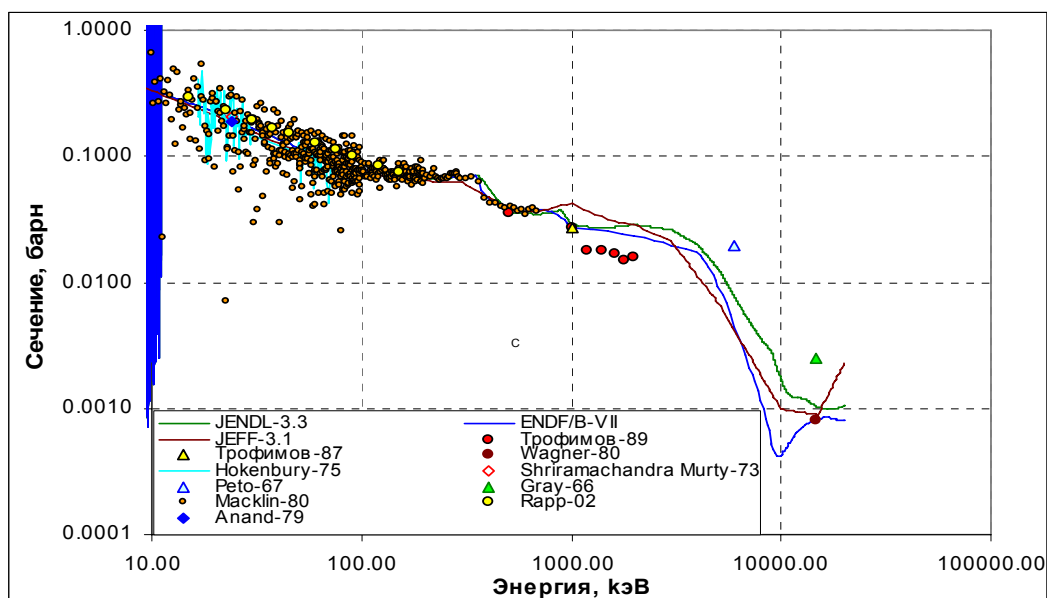


Рис.2б. Сечение захвата

### Заключение

В РОСФОНД целесообразно включить данные из ENDF/B-VIIb2.

### Автор рекомендации

Николаев М.Н.

## 44.10. Рутений-106

Радиоактивен ( $T_{1/2}=373.6$  дн.). Испытывает бета-распад в родий-106, а тот очень быстро – в палладий-106.

Продукт деления. Выход при делении урана-235 тепловыми нейтронами  $4.10 \cdot 10^{-3}$ .

В современных библиотеках содержатся две полных оценки нейтронных данных:

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

JENDL-3.3 – оценка японской группы по продуктам деления 1990 г., принятая и в ENDF/B-VIIb2.

Область разрешенных резонансов отсутствует в обеих оценках. В оценке JENDL-3.3 введена область неразрешенных резонансов от 500 эВ до 100 кэВ.

Следующие из оценок тепловые сечения и резонансные интегралы захвата приводятся ниже вместе с экспериментальными данными.

Источник	$\sigma(0.0253 \text{ эВ})$		RI
	Полное	Захват	Захват
<b>JEFF-3.1</b>	<b>4.21</b>	<b>0.146</b>	<b>2.039</b>
<b>JENDL-3.3</b>	<b>3.50</b>	<b>0.146</b>	<b>1.93</b>
Werner-65		$0.146 \pm 0.045$	$2.0 \pm 0.6$

На рис. 1 сравниваются оценки сечения захвата.

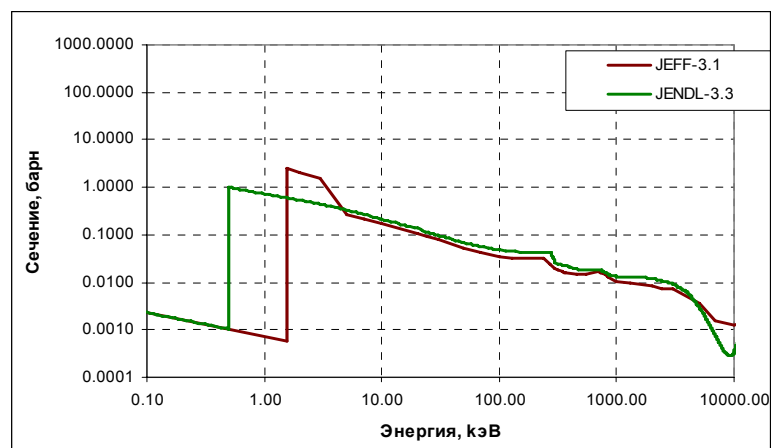


Рис.1. Сечение захвата

### Заклучение

В РОСФОНД целесообразно включить данные из JENDL-3.3

**Автор рекомендации**

Николаев М.Н.