

## 34. СЕЛЕН

### 34.1. Селен-72

Радиоактивен ( $T_{1/2}=8.4$  дн.) Испытывая захват орбитального электрона превращается в мышьяк-72, а тот испуская позитрон ( $T_{1/2}=26$  ч.) – в германий-72. В ничтожных колчествах может образовываться в реакторах за счет реакции  $^{74}\text{Se}_{(0.89\%)}(n,3n)$ .

Полных наборов оцененных нейтронных данных ни в одной библиотеке нет. Последняя оценка нейтронных сечений содержится в EAF-2003. Из нее следуют следующие значения теплового сечения захвата и резонансного интеграла:

$\sigma_c=7.29$  барн

$RI=4.26$  барн

Экспериментальных данных для проверки оцененных сечений не имеется.

#### Заключение

Включить в РОСФОНД оценку сечений из EAF-2003.

#### Автор рекомендации

Николаев М. Н.

### 34.2. Селен-74

Содержание в естественной смеси 0.89%.

В современных библиотеках содержатся следующие оценки:

JEFF-3.1 – оценка 1982 г. выполненная группой специалистов для ENDF/B-V.

JENDL-3.3 – оценка 1990г. японской группы специалистов по оценке данных для продуктов деления.

ENDF/B-VIIb2 – оценка WPEC SG23(рабочей группы по кооперации работ по оценке для международной библиотеки данных о продуктах деления), 1990 г. По существу, совпадает с предыдущей.

Все оценки содержат область разрешенных резонансов. В JEFF-3.1 она простирается до 2400 эВ и содержит 7 s-резонансов с максимальной энергией 2303 эВ. В JENDL-3.3 и ENDF/B-VII граница RRR- 2600 эВ, область содержит 8 s- резонансов (включая связанное состояние) с максимальной энергией 7328 эВ и один p-резонанс.

Тепловые сечения и резонансные интегралы, следующие из оценок приведены ниже в сравнении с экспериментальными данными

Оценка	$\sigma(0.0253 \text{ эВ})$			RI
	Полное	Упругое	Захват	Захват
JEFF-3.1	51.7	0.01	51.7	579.3
JENDL-3.3= ENDF/B-VIIb2	59.1	7.3	51.8	579.5
Heft-78			46±1	600±50
Van Der Linded-72				475±19
Ricabarra-68				456±64
Sims-67			66.8±2.1	589±120
Steinnes-67			51.8±1.2	
Pomerance-52			48±7	

Как видим, две последние совпадающие оценки находятся «в центре тяжести» доаольно разбросанных экспериментальных данных. Ничтожное сечение упругого

рассеяния в JEFF-3.1 – следствие интерференции резонансного и потенциального рассеяния, не компенсированного влиянием связанного состояния.

На рис.1. оцененные сечения захвата сравниваются друг с другом и немногими имеющимися экспериментальными данными.

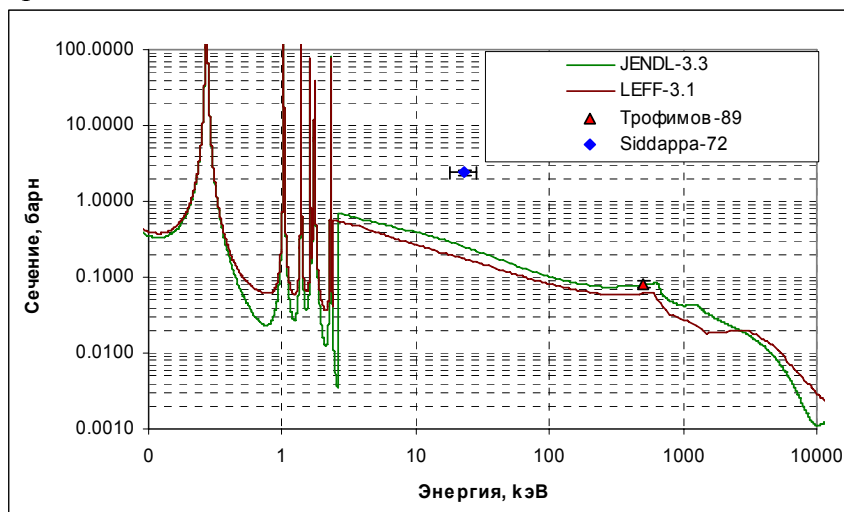


Рис.1. Сечение захвата.

Налицо резкое противоречие с результатом измерения сечения при энергии 23 кэВ. Создается подозрение, что экспериментальный результат завышен ровно на порядок. Необходимость дополнительных измерений очевидна.

Следует отметить, что оценки JENDL-3.3 и ENDF/B-VII содержат область неразрешенных резонансов (до 100 кэВ); в них детальнее описывается неупругое рассеяние. Данные об образовании фотонов отсутствуют во всех оценках.

### Заключение

Включить в РОСФОНД оценку ENDF/B-VIIb2. Отметить расхождение с результатом эксперимента при 23 кэВ.

#### Автор рекомендации

Николаев М.Н.

## 34.3. Селен-75

Радиоактивен ( $T_{1/2}=119.64$  дн.) Испытывая захват орбитального электрона превращается в мышьяк-75. Может образовываться в реакторах за счет реакции  $^{74}\text{Se}_{(0.89\%)}(n,\gamma)$  и  $^{76}\text{Se}_{(9.39\%)}(n,2n)$ .

Полных наборов оцененных нейтронных данных ни в одной библиотеке нет. Последняя оценка нейтронных сечений содержится в EAF-2003. Из нее следуют следующие значения теплового сечения захвата и резонансного интеграла:

$\sigma_c=330$  барн

$RI=386$  барн

Экспериментальных данных для проверки оцененных сечений не имеется.

### Заключение

Включить в РОСФОНД оценку сечений из EAF-2003.

#### Автор рекомендации

Николаев М. Н.

### 34.4. Селен-76

Содержание в естественной смеси 9.36%.

В современных библиотеках содержатся следующие оценки:

JEFF-3.1 – оценка 1982 г. выполненная группой специалистов для ENDF/B-V.

JENDL-3.3 – оценка 1990г. японской группы специалистов по оценке данных для продуктов деления.

ENDF/B-VIIb2 – оценка WPEC SG23 (рабочей группы по кооперации работ по оценке для международной библиотеки данных о продуктах деления), 1990 г. По существу, совпадает с предыдущей.

Все оценки содержат область разрешенных резонансов. В JEFF-3.1 она простирается до 7488.203 эВ и содержит 11 s-резонансов с максимальной энергией 7148 эВ и 6 р-резонансов с максимальной энергией 3170 эВ. В JENDL-3.3 и ENDF/B-VII граница RRR- 9000 эВ, область содержит 16 s- резонансов (включая связанное состояние) с максимальной энергией 13281 эВ и те же 6 р-резонансов.

Тепловые сечения и резонансные интегралы, следующие из оценок приведены ниже в сравнении с экспериментальными данными

Оценка	$\sigma(0.0253 \text{ эВ})$			RI
	Полное	Упругое	Захват	Захват
JEFF-3.1	86.9	1.92	85.0	44.3
JENDL-3.3= ENDF/B-VIIb2	103.5	18.5	85.0	40.9
Pomerance-52			82±8	

Кроме приведенного единственного измерения Померанцем полного сечения захвата имеется 4 измерения сечения с образованием  $^{77}\text{Se}^m$  (15.5 сек.), которые в среднем дают примерно 22 барна, т.е. вероятность образования изомера составляет 26%. Van Der Linden в 1974 г. измерил резонансный интеграл захвата с образованием изомера и получил  $16.0 \pm 0.2$  барна. Если считать, что вероятность образования изомера в резонансной и в тепловой области совпадают, то из измерения Ван Дер Линдена следует, что резонансный интеграл равен 61 барн, что существенно выше оцененного. Принятые в оценках значения резонансного интеграла основаны на расчетных оценках Мухабхаба 1981 г. На рис.1. оцененные сечения захвата сравниваются друг с другом и немногими имеющимися экспериментальными данными.

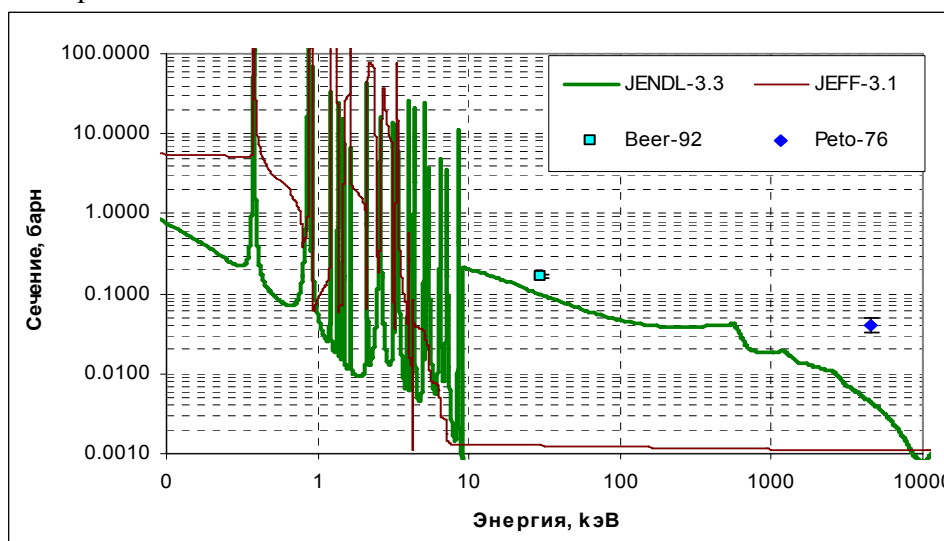


Рис.1. Сечение захвата.

Создается впечатление, что оцененное сечение захвата вне резонансной области занижено, по крайней мере вдвое. Необходимость дополнительных измерений очевидна.

Следует отметить, что оценки JENDL-3.3 и ENDF/B-VII содержат область неразрешенных резонансов (до 100 кэВ); в них детальнее описывается неупругое рассеяние. Данные об образовании фотонов отсутствуют во всех оценках.

### Заключение

Включить в РОСФОНД оценку ENDF/B-VIIb2. Отметить систематическое занижение сечения захвата относительно экспериментальных данных.

#### Автор рекомендации

Николаев М.Н.

## 34.5. Селен-77

Содержание в естественной смеси 7.63%. Является продуктом деления. Выход при делении урана-235 тепловыми нейтронами  $8.49 \cdot 10^{-5}$ .

В современных библиотеках содержатся следующие оценки:

JEFF-3.1 – оценка 1982 г. выполненная группой специалистов для ENDF/B-V.

JENDL-3.3 – оценка 1990г. японской группы специалистов по оценке данных для продуктов деления.

ENDF/B-VIIb2 – оценка WPEC SG23 (рабочей группы по кооперации работ по оценке для международной библиотеки данных о продуктах деления), 1990 г. По существу, совпадает с предыдущей.

Все оценки содержат область разрешенных резонансов. В JEFF-3.1 она простирается до 2723.7 эВ и содержит 22 s-резонанса с максимальной энергией 2664 эВ и 9 p-резонансов с максимальной энергией 1880 эВ. В файле MF=3 присутствует нерезонансная подложка к сечениям захвата и рассеяния.

В JENDL-3.3 и ENDF/B-VII граница RRR- 2700 эВ, область содержит 28 s-резонансов (включая связанное состояние) с максимальной энергией 3919 эВ и 10 p-резонансов (максимальная энергия та же – 1880 эВ). Введена область неразрешенных резонансов, простирающаяся до 100 кэВ.

Тепловые сечения и резонансные интегралы, следующие из оценок приведены ниже в сравнении с экспериментальными данными

Оценка	$\sigma(0.0253 \text{ эВ})$			RI
	Полное	Упругое	Захват	Захват
JEFF-3.1	44.4	2.4	42.0	35.9
JENDL-3.3= ENDF/B-VIIb2	50.5	8.5	42.0	31.8
Pomerance-52			40±4	

На рис.1. оцененные сечения захвата сравниваются друг с другом и единственным содержащимся в EXFORе усредненным результатом измерений, выполненных с высоким разрешением на реакторе ИБР и учтенных при оценке резонансных параметров. Хорошо виден эффект введения нерезонансной подложки в JEFF-3.1.

Результат усреднения сечения захвата, оцененного в JENDL-3.3 (=ENDF/B-VII), по интервалу от 112 эВ до 4 кэВ превышает экспериментальное значение почти на порядок. Однако если предположить ошибку в указании нижней границы интервала, т.е. отнести результат к области от 1.12 кэВ до 3.92 кэВ (что представляется более естественным), то усреднение оцененного сечения точно совпадет с измеренным!

Значения сечений вне резонансной области представляются существенно завышенными.

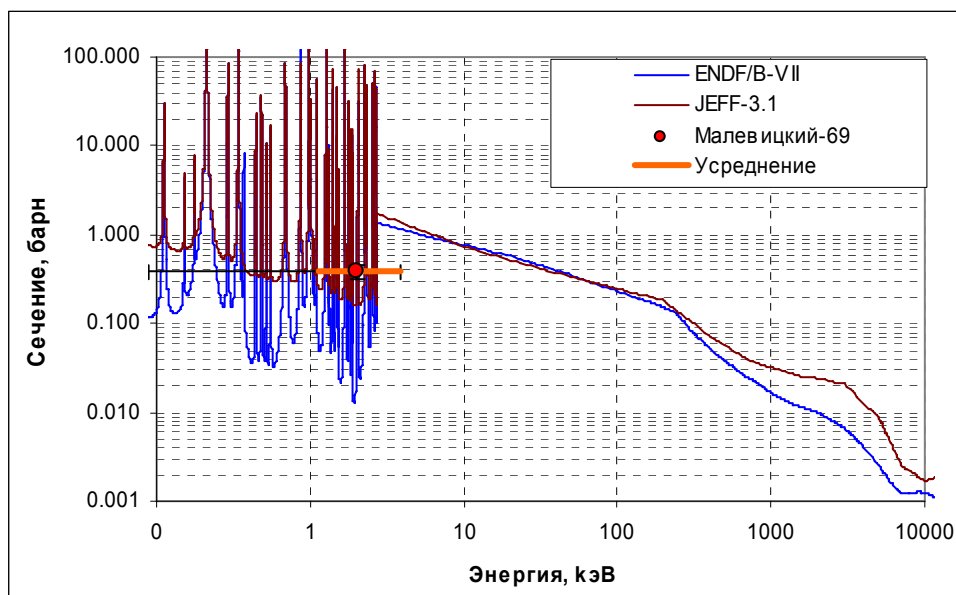


Рис.1. Сечение захвата.

Данные об образовании фотонов отсутствуют во всех оценках.

### Заключение

Включить в РОСФОНД оценку ENDF/B-VIIb2. Отметить сомнение в оценке сечения захвата вне резонансной области, которое, возможно, существенно завышено.

### Автор рекомендации

Николаев М.Н.

## 34.6. Селен-78

Содержание в естественной смеси 23.77%. Является продуктом деления. Выход при делении урана-235 тепловыми нейтронами  $2.04 \cdot 10^{-4}$ .

В современных библиотеках содержатся следующие оценки:

JEFF-3.1 – оценка 1982 г. выполненная группой специалистов для ENDF/B-V.

JENDL-3.3 – оценка 1990г. японской группы специалистов по оценке данных для продуктов деления.

ENDF/B-VIIb2 – оценка WPEC SG23 (рабочей группы по кооперации работ по оценке для международной библиотеки данных о продуктах деления), 1990 г. По существу, совпадает с предыдущей.

Все оценки содержат область разрешенных резонансов. В JEFF-3.1 она простирается до 12108 эВ и содержит 6 s-резонанса с максимальной энергией 11060 эВ и 6 p-резонансов с максимальной энергией 5637 эВ. В файле MF=3 присутствует нерезонансная подложка, главным образом, к сечению захвата.

В JENDL-3.3 и ENDF/B-VII граница RRR- 12000 эВ ровно, область содержит 16 s-резонансов (включая связанное состояние) с максимальной энергией 40500 эВ и 5 p-резонансов (максимальная энергия– 3852 эВ; резонанс с энергией 5673 эВ

идентифицирован как s-резонанс). Введена область неразрешенных резонансов, простирающаяся до 100 кэВ.

Тепловые сечения и резонансные интегралы, следующие из оценок приведены ниже.

Оценка	$\sigma(0.0253 \text{ эВ})$			RI
	Полное	Упругое	Захват	Захват
JEFF-3.1	2.95	2.55	0.40	4.51
JENDL-3.3= ENDF/B-VIIb2	8.88	8.46	0.43	4.63
Koester-80		8.4±1		

Экспериментальные данные по полному сечению захвата отсутствуют. Имеются лишь активационные измерения сечения образования  $^{79}\text{Se}^m$  (3.9 мин.). При 0.0253 эВ получено:

Mannhart-68:  $\sigma_c = 0.25 \pm 0.025$  барн;

Kramer-65:  $\sigma_c = 0.36 \pm 0.04$  барн;

Weigmann-62:  $\sigma_c = 0.4 \pm 0.04$  барн;

Hans-60:  $\sigma_c = 0.12 \pm 0.04$  барн;

Согласно оценке EAF-2003, вероятность образования изомера составляет при низких энергиях 88.4%. Если принять эту оценку, то и с принимаемыми оценками полного сечения захвата можно согласиться.

На рис.1. оцененные сечения захвата сравниваются друг с другом

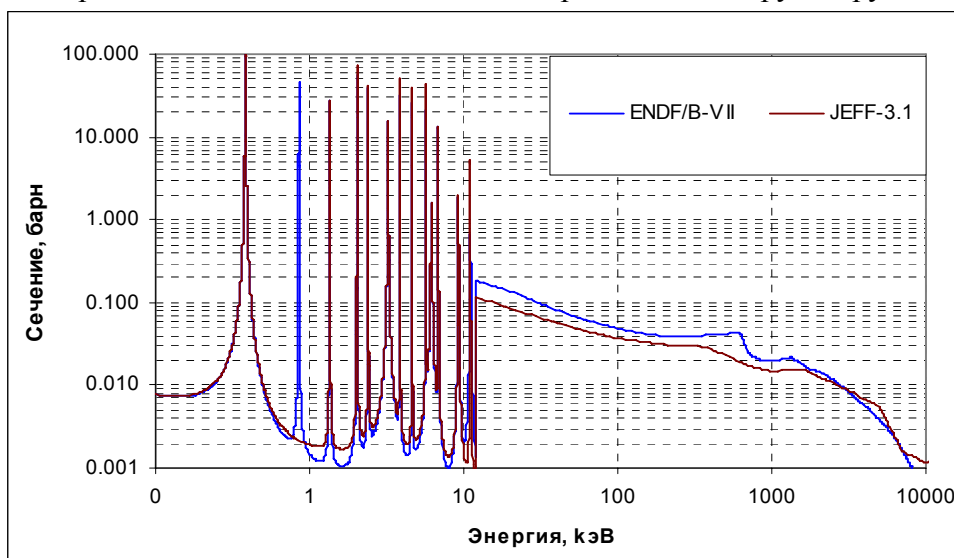


Рис.1. Сечение захвата.

Данные об образовании фотонов отсутствуют во всех оценках.

### Заключение

Включить в РОСФОНД оценку ENDF/B-VIIb2.

**Автор рекомендации**

Николаев М.Н.

## 34.7. Селен-79

Радиоактивен ( $T_{1/2} = 2.95 \cdot 10^5$  лет). Является продуктом деления. Выход при делении урана-235 тепловыми нейтронами  $4.87 \cdot 10^{-4}$ .

Во всех современных полных библиотеках содержится одна и та же оценка JENDL-3.

В ней содержится область неразрешенных резонансов, простирающаяся от 38 эВ до 100 кэВ. Оценка целиком основана на результатах расчетов и полуэмпирических систематик.

Аналогична методология и оценки, принятой в EAF-2003.

Тепловые сечения и резонансные интегралы, следующие из оценок приведены ниже.

Оценка	$\sigma(0.0253 \text{ эВ})$			RI
	Полное	Упругое	Захват	Захват
JENDL-3	56.3	6.3	50	60.9
EAF-2003			10.95	29.76

Экспериментальные данные отсутствуют.

На рис.1. оцененные сечения захвата сравниваются друг с другом. Как и в случае селена-77 сечение захвата в кэВ-ной области представляется завышенным.

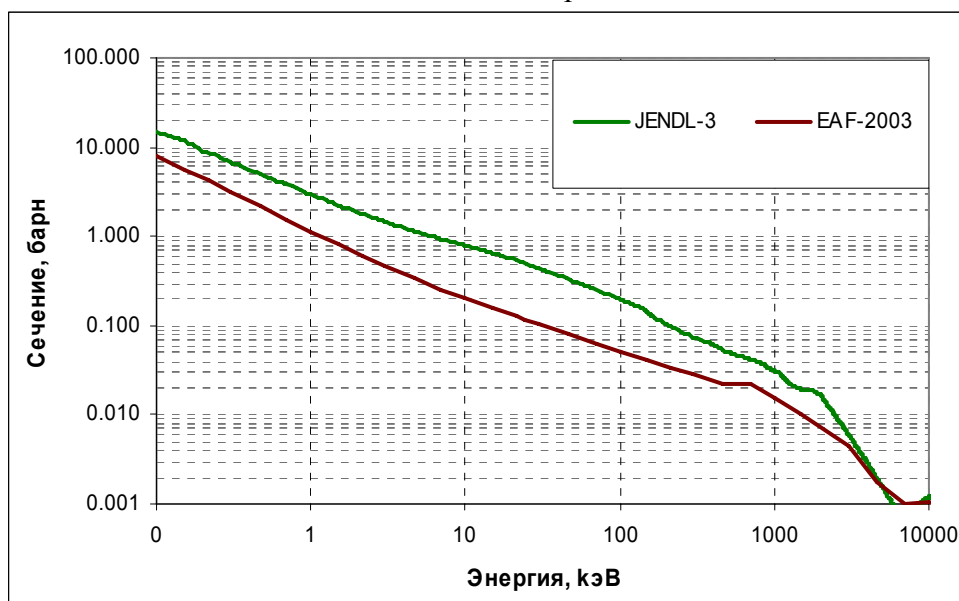


Рис.1. Сечение захвата.

### Заключение

Включить в РОСФОНД оценку ENDF/B-VIIb2, отметив ненадежность оценки и вероятную завышенность сечения захвата.

**Автор рекомендации**  
Николаев М.Н.

## 34.8. Селен-80

Содержание в естественной смеси максимально - 49.61%. Является продуктом деления. Выход при делении урана-235 тепловыми нейтронами  $1.28 \cdot 10^{-3}$ .

В современных библиотеках содержатся следующие оценки:

JEFF-3.1 – оценка 1982 г. выполненная группой специалистов для ENDF/B-V.

JENDL-3.3 – оценка 1990г. японской группы специалистов по оценке данных для продуктов деления.

ENDF/B-VIIb2 – оценка WPEC SG23 (рабочей группы по кооперации работ по оценке для международной библиотеки данных о продуктах деления), 1990 г. По существу, совпадает с предыдущей.

Все оценки содержат область разрешенных резонансов. В JEFF-3.1 она простирается до 6707 эВ и содержит 5 s-резонансов с максимальной энергией 5660 эВ и 2 р-резонанса с максимальной энергией 5240 эВ. В файле MF=3 присутствует нерезонансная подложка, главным образом, к сечению захвата.

В JENDL-3.3 и ENDF/B-VII граница RRR- 10000 эВ ровно, область содержит 12 s-резонансов (включая связанное состояние) с максимальной энергией 39900 эВ и 4 р-резонанса с максимальной энергией 8150 эВ. Введена область неразрешенных резонансов, простирающаяся до 100 кэВ.

Тепловые сечения и резонансные интегралы, следующие из оценок приведены ниже.

Оценка	$\sigma(0.0253 \text{ эВ})$			RI
	Полное	Упругое	Захват	Захват
JEFF-3.1	1.68	1.07	0.61	1.00
JENDL-3.3= ENDF/B-VIIb2	7.60	6.99	0.61	0.93
Koester-80		6.95±0.06		
Heft-78			0.53±0.05	
Pomerance-52			0.59±0.06	
Ricabarra-68				1.42±0.16

Имеется также несколько результатов измерения изомерного отношения и измерения сечения образования изомера, которые, разумеется, тоже использовались при оценке. Т.о. оцененные в ENDF/B-VII тепловые сечения и резонансный интеграл имеют надежное экспериментальное обоснование.

На рис.1. оцененные сечения захвата сравниваются друг с другом и с экспериментальными данными. Последние подтверждают оценку, принятую в ENDF/B-VII.

Данные об образовании фотонов отсутствуют во всех оценках.



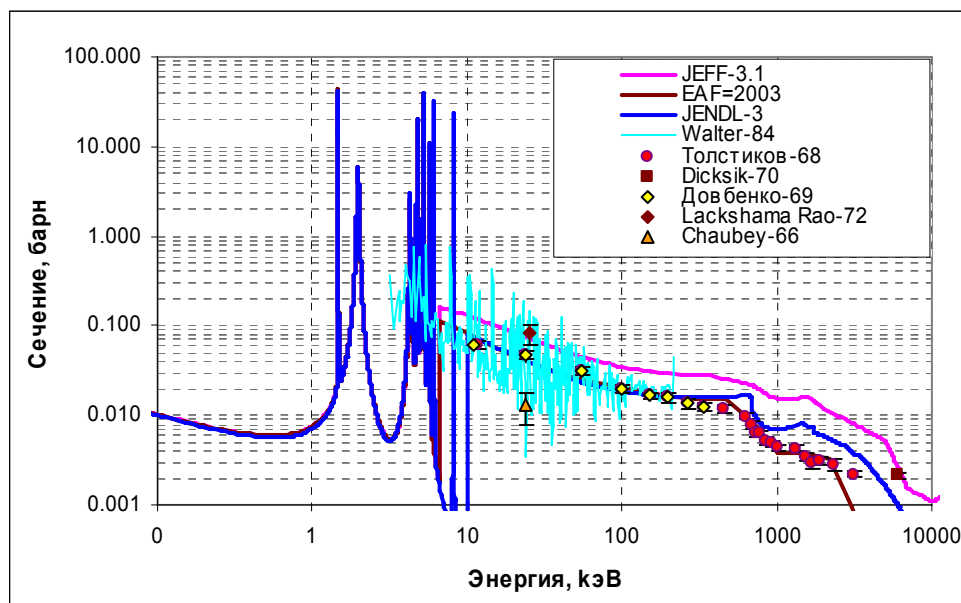


Рис.1. Сечение захвата.

### Заключение

Включить в РОСФОНД оценку ENDF/B-VIIb2.

**Автор рекомендации**

Николаев М.Н.

## 34.9. Селен-82

Содержание в естественной смеси 8.73%. Является продуктом деления. Выход при делении урана-235 тепловыми нейтронами  $3.28 \cdot 10^{-3}$ .

В современных библиотеках содержатся следующие оценки:

JEFF-3.1 – оценка 1982 г. выполненная группой специалистов для ENDF/B-V.

JENDL-3.3 – оценка 1990г. японской группы специалистов по оценке данных для продуктов деления.

ENDF/B-VIIb2 – оценка WPEC SG23 (рабочей группы по кооперации работ по оценке для международной библиотеки данных о продуктах деления), 1990 г. Отличается от предыдущей включением новой (2006 г) оценкой резонансных параметров С. Мухабхамом.

Все оценки содержат область разрешенных резонансов. В JEFF-3.1 она простирается до 31118 эВ и содержит 4 s-резонанса с максимальной энергией 26550 эВ. В файле MF=3 присутствует нерезонансная подложка, главным образом, к сечению захвата.

В JENDL-3.3 граница RRR- 18000 эВ ровно, область содержит 6 s- резонансов (включая связанное состояние) с максимальной энергией 16500 эВ. Плавной подложки нет. Введена область неразрешенных резонансов, простирающаяся до 100 кэВ.

В ENDF/B-VIIb2 граница RRR- 30000 эВ ровно, область содержит 5 s- резонансов (включая связанное состояние) с максимальной энергией 26550 эВ и 2 p-резонанса с максимальной энергией 9508 эВ. Плавной подложки нет. Введена область неразрешенных резонансов, простирающаяся до 100 кэВ.

Тепловые сечения и резонансные интегралы, следующие из оценок приведены ниже.

Оценка	$\sigma(0.0253 \text{ эВ})$			RI
	Полное	Упругое	Захват	Захват
JEFF-3.1	1.68	1.07	0.61	1.00
JENDL-3.3= ENDF/B-VIIb2	7.60	6.99	0.61	0.93
Koester-80		5.0±0.2		
Mannhart-68			0.045±0.003	
Pomerance-52			2±1.4	
Seren-47			0.06±0.01	

Таким образом, оценка тепловых сечений ENDF/B-VII вполне обоснована экспериментально. Результаты измерений резонансного интеграла в EXFORe не содержится.

На рис.1. оцененные сечения захвата сравниваются друг с другом и с экспериментальными данными. Последние подтверждают оценку, принятую в EAF-2003 и указывают на то, что оценка, принятая в ENDF/B-VII и в JENDL-3.3 вне резонансной области существенно завышена. Правда, результаты Хермана и Перкина считаются относящимися к сечению образования  $^{83}\text{Se}$  в основном состоянии (22.3 мин). Однако оба результата получены активационной методикой и для отделения сечения прямого образования изомера от его образования после изомерного перехода (период полураспада изомера 70.1 сек) требовалось применение специальных сложных методик, о которых не упоминается. Видимо при оценке данных для ENDF/B-VII и в JENDL-3.3 принималось, что вероятность образования ядра-продукта в основном состоянии такова, как она измерена в тепловой области (0.07±0.01 согласно Iyer-67; 0.12 согласно Mannhart-68).

Как бы то ни было, обоснованность оценки ENDF/B-VII внушает большие сомнения.

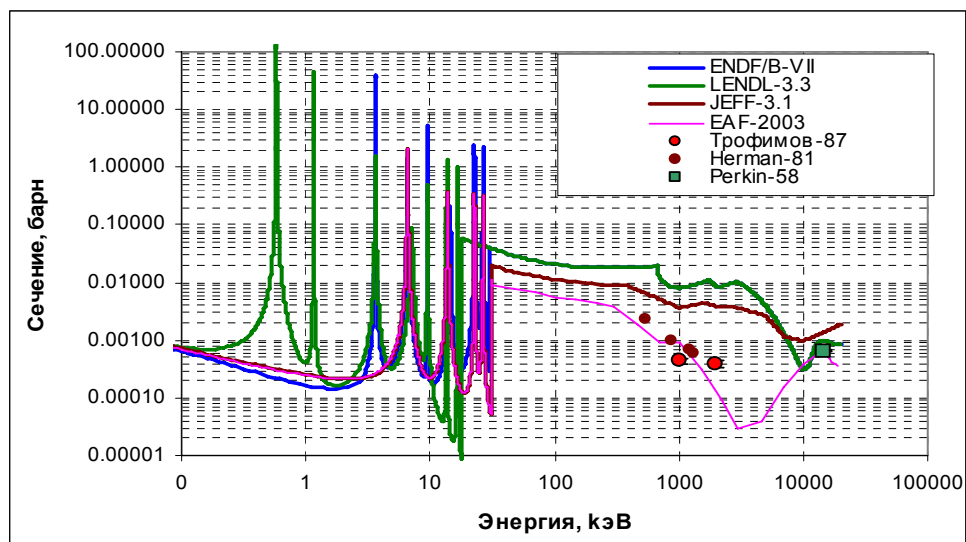


Рис.1. Сечение захвата.

### Заключение

Включить в РОСФОНД оценку ENDF/B-VIIb2. Отметить вероятное сильное завышение сечения захвата вне резонансной области. Разрешение сомнения требует дополнительного изучения условий выполнения экспериментов.

**Автор рекомендации**

Николаев М.Н.